سلسلة تقدمات فى دراسات الخضر

١

تقدمات فى دراسات الأهمية الغذائية والطبية للخضر

تأليف

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر المتفرغ

كلية الزراعة – جامعة القاهرة

٢٠٢٢

تقدمات فى دراسات الأهمية الغذائية والطبية للخضر

حسـن، أحمد عبد المنعم
تقدمات فى دراسـات الأهمية الغذائية والطبية للخضر
تأليف: أحمد عبد المنعم حسـن.
ط١.- القاهرة: - ٢٠٢٢ م - ١٤٤٣ هـ
١٦٣ ص, ١٧ × ٢٤- (سلسلة تقدمات فى دراسات الخضر).
إنتاج الخضر
فسيولوجيا الخضر
العنوان

الطبعة الأولى
١٤٤٣هـ - ٢٠٢٢م

مقدمة

كما يُستدل من عنوان هذا الكتاب، فإنه يركز على التقدمات فى دراسات القيمة الغذائية والطبية للخضراوات، ولذا.. فإننا تجنبنا — قدر الإمكان — أى تكرار لِما سبق أن بيناه حول هذا الموضوع فى كتب سابقة، والتى كان منها:

- أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر فى الزراعات المكشوفة والمحمية (حسن ١٩٨٨).
- الأهمية الغذائية والطبية للخضراوات (حسن ٢٠١٥).
- تكنولوجيا الإنتاج المتميز للطماطم (حسن ٢٠١٨).
- القرعيات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها (حسن ٢٠١٩).
- البطاطس: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها (حسن ٢٠٢٠).
- الثوميات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها (حسن ٢٠٢٢).

ويمكن الإطلاع على تلك الكتب وعلى غيرها من مؤلفاتى العلمية بالرجوع إلى صفحتى على جوجل:

https://sites.google.com/view/prof-ahmed-hassan-site/home

أ.د. احمد عبدالمنعم حسن

محتويات الكتاب

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

صفحة

تقديم

تتأثر القيمة الغذائية والطبية للخضر بعديد من العوامل بدءًا بالصنف المستعمل فى الزراعة، ومرورًا بالعوامل البيئية والمعاملات الزراعية التى يُعطاها المحصول المزروع، وانتهاء بظروف التداول والتخزين. ومع تناول تأثير تلك العوامل على مختلف محاصيل الخضر — كل على حدة فى فصول الكتاب — فإننا نُجمل التأثيرات العامة لبعض تلك العوامل، فيما يلى:

تأثيرات لبعض العوامل على القيمة الغذائية والطبية للخضر

١- موسم الزراعة

يؤثر موسم الزراعة كثيرًا على القيمة الغذائية والطبية للخضر، وذلك من خلال تباين المواسم فى ظروفها البيئية من حرارة، وشدة إضاءة، وفترة ضوئية، وغير ذلك من العوامل الجوية والظواهر الطبيعية. وفى إحدى الدراسات.. وُجدت تباينات كبيرة بين محصول مختلف مواسم الزراعة لبعض الخضر فى المحتوى الغذائى، مثل محتوى فيتامين ج فى السبانخ والبطاطس والبروكولى والطماطم (Phillips وآخرون ٢٠١٨).

ويُستدل من دراسات حديثة على أن لمستويات الطبيعية من الأشعة فوق البنفسجية (٢٨٠–٤٠٠ نانوميتر) فى ضوء الشمس لها عدة تأثيرات مفيدة على القيمة الغذائية لكثير من الخضر والفاكهة. ولقد ثبت أن كلاًّ من UVB (٢٨٠–٣١٥ نانوميتر)، و UVA (٣١٥–٤٠٠ نانوميتر) تؤثر فى النمو النباتى والبناء الضوئى ومحتوى نواتج الأيض الثانوية، وفى التفاعل بين النبات والحشرات فى عدد من المحاصيل الزراعية. كما تبين أن تمثيل الفلافونويدات يزداد بتأثير التعرض للـ UVB (Neugart & Schreiner ٢٠١٨).

٢– التسميد

يمكن للأسمدة أن تُسهم فى زيادة القيمة الغذائية للخضر. فأسمدة العناصر الدقيقة تُفيد فى زيادة محتوى الخضر من الحديد والزنك، والتسميد بالنيتروجين يمكن أن يزيد من محتوى الكاروتين فى الجزر. كذلك من المعروف أن التجيير liming (إضافة الجير للتربة) يزيد من محتوى الكالسيوم فى الخضر، ويُفيد التسميد بالكبريت فى زيادة محتوى الجلوكوسينولات فى الكرنبيات. ويؤدى التسميد بالبوتاسيوم إلى زيادة محتوى فيتامين ج فى بعض الخضر (Prasad & Shivay ٢٠٢٠).

ولقد اقتُرِحت طريقة لزيادة محتوى الخضر من عنصر السيلينيم اعتمادًا على استعمال بيت موس مضاف إليه العنصر بمعدل ١٠–٢٠ مجم سيلينيم/كجم بيت، واستخدامه خلال مرحلة إنتاج الشتلات ، ثم استعمال تلك الشتلات فى الزراعة بالحقل. لم يكن لهذا المعدل من السيلينيم فى البيت تأثيرات سلبية على النمو النباتى للطماطم والخيار والخس، بعكس التركيزات الأعلى. لقد أدت المعاملة إلى زيادة محتوى السيلينيم بالشتلات بمقدار ٢ إلى ٧٨ مثل تركيزه فى شتلات الكنترول غير المعاملة، كما ازداد المحتوى فى الجزء المأكول من العنصر — حتى فى نهاية مرحلة النمو والإنتاج — بمقدار من ١,٦ مثل فى الطماطم إلى ٨,٥ مثل فى الخس. ولقد بلغ تركيز السيلينيم النهائى فى الجزء المأكول من الخضر — بالميكروجرام لكل كيلوجرام على أساس الوزن الطازج — ٣٩,٣ إلى ٤٨,٠ فى ثمار الخيار، و٢٢,٧ إلى ٥٣,٢ فى أوراق الخس، و١٥,٢ إلى ١٩,٩ فى ثمار الطماطم. هذا ولم تؤثر المعاملة لا على المحصول ولا على صفات جودة الخضر، باستثناء أنها — فى بعض الحالات — أثرت سلبًا قليلاً على القدرة التخزينية وعلى مستوى فيتامين أ فى ثمار الطماطم (Businelli وآخرون ٢٠١٥).

هذا.. وقدَّم Wen (٢٠٢١) عرضًا للأمور المتعلقة بأهمية السيلينيم لصحة الإنسان (حيث يلعب دورًا فى الحماية من الإصابة بالسرطان، ويرفع المناعة، ويوقف تسمم الخلايا)، وأهميته بالنسبة للنباتات البستانية (حيث يلعب دورًا فى الأيض وفى النمو والتطور).

٣- عوامل الشدِّ البيئى

عندما تتعرض النباتات لأى عامل من عوامل الشدِّ البيئى، فإن تأثيرها يتوقف على شدة العامل البيئى، فإن كان الشد بسيطًا أو معتدلاً فإن تأثيره يكون إيجابيًّا على النمو النباتى ونوعية المنتج، ويعرف هذا الشدِّ باسم eutress. أما إن كان الشدّ شديدًا فإن تأثيره يكون سلبيًّا، ويعرف ذلك باسم distress. ولقد استعرض Vázquez-Hernádez وآخرون (٢٠١٩) الدراسات السابقة فيما يتعلق بالتأثيرات الإيجابية لعوامل الشدِّ البيئى eutress.

أ- شدِّ الجفاف:

تتوفر أدلة على أن الشدِّ الرطوبى المتحكم فيه قد يُحسِّن جودة الثمار بزيادته لمحتواها من المركبات المسئولة عن الطعم ومن المركبات الكيميائية النباتية التى تزيد من جودة الخضر لصحة الإنسان. وقد استعرض Gonzalez-Chavira (٢٠١٨) الدراسات التى أجريت فى هذا المجال.

ب- الشدِّ الملحى:

استعرض Rouphael وآخرون (٢٠١٨) دراسات تأثير الشدِّ الملحى على تحسين جودة مختلف محاصيل الخضر، مع التركيز على خصائص الجودة الفيزيائية (اللون والقوام والمظهر والصلابة) والطعم والقيمة الغذائية (النكهة والطعم) والخصائص المحسنة للصحة (مضادات الأكسدة والمركبات النشطة بيولوجيًّا).

المركبات الضارة بالخضر والظروف المؤثرة فى تراكمها

أ- النترات:

يتأثر محتوى الخضر من النترات كثيرًا بعديد من العوامل، منها توقيت ومعدل التسميد بالنيتروجين وصورته المستخدمة فى التسميد، واستعمال المنشطات الحيوية فى الإنتاج (سواء أكانت مواد طبيعية أم كائنات دقيقة)، والظروف البيئية أثناء النمو

النباتى (شدة الإضاءة والطول الموجى والفترة الضوئية وحرارة منطقة نمو الجذور وتركيز ثانى أكسيد الكربون بالهواء)، ومرحلة النمو عند الحصاد، ووقت الحصاد من اليوم. هذا وتؤثر ظروف التخزين بعد الحصاد (الحرارة والإضاءة ومدة التخزين) على تحول النترات nitrate بالخضر إلى نيتريت nitrite. ناقش Colla وآخرون (٢٠١٨) كل تلك العوامل، ووسائل خفض محتوى النترات فى الخضر والفاكهة والأعشاب، وذلك فى استعراض للدراسات السابقة.

ب- العناصر الثقيلة:

استعرض Manzoor وآخرون (٢٠١٨) بحوث تراكم العناصر الثقيلة فى مختلف الخضر، وآلية امتصاصها، وتأثيراتها على فسيولوجى النبات، وكذلك تأثيراتها على الإنسان.

تعقيب

لقد وُجد لدى استعراض نتائج دراسات نُشرت فيما بين عامى ٢٠٠٠، و٢٠١٩ حول القيمة الغذائية ومدى تناسق النتائج بالنسبة لخمسة من محاصيل الخضر، هى الجزر والبروكولى والخس والثوم والبصل.. وُجد أن الجزر كان الأعلى فى تناسق النتائج بين مختلف الدراسات بنسبة ٨٩٪، بينما كان التناسق منخفضًا نسبيًّا بالنسبة لباقى المحاصيل حيث تراوح بين ٤٦٪، و٧٧٪ (Soto وآخرون ٢٠٢١).

الفصل الأول

الباذنجانيات الثمرية: الطماطم – الفلفل – الباذنجان

الطماطم

المركبات ذات الأهمية الغذائية والطبية وتبايناتها

أمكن التعرف على أكثر من ٣٥٠ مركبًا فينوليًّا فى عينات ثمار لأصناف مختلفة من الطماطم، وكان أكثرها تواجدًا الفلافونويدات flavonoids (مثل الفلافونات flavones، والفلافانولات flavanols)، والـ hydroxycinnamic acids، والـ lignans، وكانت الفينولات ذات الوزن الجزيئى المنخفض الأكثر تواجدًا. كما كانت الأنثوسيانينات هى الأكثر تواجدًا بين الفينولات المرتبطة bound phenolics، وتلاها التيروزولات tyrosols، إلاّ أن أكثر الفينولات المرتبطة تمثيلاً فى الأصناف كانت الفلافونات والـ hydroxybenzoic acids (Rocchetti وآخرون ٢٠١٩).

ولقد قُورنت ثمار طماطم شيرى حمراء اللون مع ثمار من نفس الصنف لسلالتين إحداهما ذات ثمار قرمزية نُقل إليها آليلات تمثيل صبغة الأنثوسيانين، والأخرى ذات ثمار برتقالية اللون نُقل إليها آليلات تمثيل البيتاكاروتين.. قُورنت فى محتواها من الفلافونويدات flavonoids والكاروتينويدات carotenoids والمركبات العضوية المتطايرة، ووُجد ما يلى:

١– احتوى جلد الثمار القرمزية على كميات كبيرة من الأنثوسيانينات anthocyanins، وخاصة المركب: petunidin 3-(p-coumaroyl)-rutinoside-5-glucoside المسئول عن اللون القرمزى، وفلافونويدات أخرى، مثل: الـ rutin، والـ kaempferol.

٢- تراكم بالطماطم البرتقالية كميات كبيرة من البيتاكاروتين مع ضَعفِ فى محتوى اللكوتين.

٣- بلغ إجمالى عدد المركبات المتطايرة ٢٧ مركبًا فى الثمار القرمزية، و ٣٨ فى الثمار البرتقالية، و٣٩ فى الثمار الحمراء، كان منها terpenes، و carbonyls، و alcohols، و esters، و hydrocarbons. وكان محتوى الفينولات المتطايرة أعلى فى الثمار القرمزية، وهى التى كانت الأعلى – كذلك – فى المحتوى الفينولى (da Silva Souza وآخرون ٢٠٢٠).

هذا.. وقد تواجدت – بانتظام – مركبات معينة مسئولة عن النكهة فى صنف الطماطم Mt. Fresh Plus، كانت كما يلى:

2-methyl furan	(E)-2-hexenal
1-hexanol	hexenal
6-methyl-5-hepten-2-one	

ولم تؤثر المعاملة بحامض الأبسيسك (الذى يتم تمثيله طبيعيًّا فى مسار الكاروتينويدات) على تركيز أى من تلك المركبات، ولكنها خفَّضت جوهريًّا من تركيز المركب (E)-2-hexenal (Barickman وآخرون ٢٠١٧).

تأثير غطاء البيوت المحمية

على الرغم من تباين أصناف مختلفة من الطماطم فى محتواها الفينولى الكلى، إلاّ إن ذلك المحتوى الكلى لم يتأثر بنوع الغطاء المستخدم فى البيوت المحمية، ومع ذلك فقد تأثرت المكونات الفينولية الفردية الرئيسية، مثل: الـ chlorogenic acid، والـ hydroxycinnamic acid/rutin، والـ caffeic acid، والـ ferulic acid، والـ coumaric acid، وكذلك المركبات الفلافونويدية، مثل: الـ myricetin، والـ quercetin، والـ naringenin.. تأثرت معظم تلك المكونات بكلٍّ من الصنف ونوع

الغطاء، وكان تأثر الكاروتينويدات الكلية والليكوبين جوهريًّا بنوع الغطاء (Ahmadi وآخرون ٢٠١٨).

وعندما دُرس تأثير أنواع مختلفة من أغطية البوليثيلين للبيوت المحمية (S-PE، و 7-PE، و ID-PE) على صفات جودة ثمار الطماطم، وُجد أن محتوى التوكوفيرول tocopherol كان الأعلى عند استعمال غطاء ID-PE، بينما كان محتوى السكر (الفراكتوز والجلوكوز) الأعلى عند استعمال غطاء S-PE. وكان محتوى الأحماض العضوية الأعلى فى القطفات المبكرة، وخاصة عند استعمال غطاء 7-PE، و S-PE، بينما انخفض المحتوى تدريجيًّا فى القطفات التالية. وبينما كانت استجابة تضادية الأكسدة متباينة حسب نوع الغطاء وموعد الحصاد، فإن محتوى البيتاكاروتين، والكاروتينويدات، والكلوروفيل كان الأعلى عند استعمال غطاء 7-PE (Petropoulos وآخرون ٢٠١٩).

تأثير شدة الإضاءة وألوان الطيف قبل الحصاد

وُجد أن خصائص التذوق الكيميائية لثمار الطماطم لم تتغير لدى تعرض النباتات فى البيوت المحمية لإضاءة إضافية من لمبات لِدّ LED بلون أحمر أو أزرق أو تحت أحمر (Dzakovich وآخرون ٢٠١٧).

هذا.. إلاّ إن محتوى ثمار الطماطم من حامض الأسكوربك ازداد بزيادة شدة الإضاءة من ٢٤٩ إلى ٩٦١ ميكرومول/م^{٢} فى الثانية بالضوء اللِد LED الأزرق، وليس الأحمر. كذلك فإن تحفيز النظام المضاد للأكسدة (نشاط الأسكوربيت بيروكسيديز والديهدروأسكوربيت ردكتيز) فى ظروف شدة الإضاءة يحفز الزيادة فى محتوى حامض الأسكوربك. وقد تماثلت الأصناف المتفاوتة بطبيعتها فى محتوى ثمارها من حامض الأسكوربك.. تماثلت فى استجابتها للضوء (Zushi وآخرون ٢٠٢٠).

ولقد أُجريت دراسة على صنفى الطماطم Cherry Little Wonder ذات الثمار الحمراء، و Goldilocks ذات الثمار الصفراء عُرِّضت فيها عناقيد الثمار الخضراء المكتملة

التكوين – قبل الحصاد – للضوء الأحمر (٦٣٤ نانوميتر بقوة ١٢٠ ± ٢٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية)، أو للضوء الأزرق (٤٥٠ نانوميتر بقوة ١٢٠ ± ٢٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية) لمدة ثمانى ساعات يوميًّا لسبعة أيام متتالية. أثرت تلك المعاملات جوهريًّا على لون الثمار الناضجة وتركيز الصبغات فيها. ولقد أدت معاملتى الضوء إلى تحفيز تراكم الليكوبين جوهريًّا، كما حفزت المعاملتين من تراكم البيتاكاروتين، وكان هذا التأثير – بالنسبة لكلتا الصبغتين – أعلى فى الصنف ذات الثمار الحمراء عما فى الصنف ذات الثمار الصفراء. وأدت معاملتى الإضاءة – كذلك – إلى إسراع التغير اللونى بما مقداره خمسة أيام فى الثمار الحمراء، و١٠ أيام فى الصفراء (Ngcobo وآخرون ٢٠٢٠).

وفى دراسة عن تأثير التظليل بقماش التظليل shade cloth على محصول وجودة ثمار الطماطم فى البيوت المحمية، وُجد أن التظليل إلى ٦٠٪ إضاءة أثَّر سلبيًّا على المحصول عندما كان التسميد الآزوتى بمستوى ١٤ مللى مول نيتروجين فى المحلول المغذى، لكن المستويات الأقل من النيتروجين (٣، و٧ مللى مول) عوضت التأثير السلبى للتظليل. ولم يؤثر التظليل على تركيز السكريات بالثمار، ولكنه قلل من محتوى المركبات الفينولية وفيتامين ج. وبالمقارنة.. فإن خفض جرعة النيتروجين أدت إلى زيادة تركيز المركبات الفينولية عند ١٠٠٪ إضاءة، وإلى زيادة فيتامين ج بالتظليل وبدونه. وأدى التظليل إلى خفض تركيز البيتاكاروتين فى وجود أعلى تركيز من النيتروجين (١٤ مللى مول). أما تركيز الليكوبين فقد ازداد بالتظليل، ولم يؤثر خفض جرعة النيتروجين مع التظليل على تركيز أى من البيتاكاروتين أو الليكوبين بالثمار (Hernández وآخرون ٢٠١٩).

هذا.. وتُنتج نباتات الطماطم كمًّا هائلاً من الكتلة البيولوجية الغنية بالكثير من مركبات الأيض الثانوية التى لم تحظ باهتمام يذكر حتى الآن. ومن بين تلك المركبات الهامة الجلوكوسيد الفلافونولى flavonol glycoside ريوتين rutin. ولقد وُجد أن تعريض نباتات الطماطم فى الزراعة المحمية لإضاءة إضافية بين النموات الخضرية من لمبات LED تعطى ٨٠٪ ضوء أحمر، و٢٠٪ ضوء أزرق تؤدى إلى زيادة إنتاج مركبات الأيض الثانوية فى النموات الخضرية، ومنها زيادة تركيز الريوتين فى الأوراق الحديثة، وبدرجة أقل فى الأوراق المكتملة النمو (Groher وآخرون ٢٠١٩).

تأثير التعريض للأشعة فوق البنفسجية قبل الحصاد

أدى تعريض نباتات الطماطم يوميًّا لجرعتين من الأشعة فوق البنفسجية أ UV-A لمدة ساعة أو أربع ساعات إلى تحفيز النشاط المضاد للأكسدة بالثمار؛ بتراكم المركبات الفينولية، بما فى ذلك الفلافونويدات. وكانت المعاملة بالـ UV-A لمدة ساعة واحدة فقط يوميًّا هى الوحيدة التى حفَّزت تراكم الـ ortho-diphenols بالثمار. كذلك كانت ثمار النباتات المعاملة أكثر قبولاً فى اختبارات التذوق. وأدى تعريض النباتات لأى من UV-A أو الأشعة فوق البنفسجية ب UV-B لمدة ساعة واحدة أو أربع ساعات يوميًّا إلى إنتاج ثمار أكثر عددًا وأقل حجمًا (Mariz-Ponte وآخرون ٢٠١٩).

كما دُرس تأثير تعريض ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين للأشعة فوق البنفسجية ج UV-C بجرعة ٤ كيلوجول/م^{٢}، ثم تخزينها على ١٣ ْم ورطوبة نسبية ٩٥٪.. دُرس تأثير ذلك على محتواها من المركبات الهامة غذائيًّا. وقد وجد أن المعاملة كانت فعالة فى زيادة محتوى الثمار من الفينولات الكلية والأحماض الفينولية المفردة والفلافونويدات، والتى تضمنت caffeic acid، و p-coumaric acid، و trans-ferulic acid، و chlorogenic acid، و gallic acid، و protocatechuic acid، و rutin، و quercetin. كما استحثت المعاملة تعبير جينات تُشفر للإنزيمات المفتاحية فى مسار الـ phenylpropanoid، وحفَّزت نشاط عدد من الإنزيمات ذات العلاقة بهذا المسار والمتعلقة بزيادة محتوى المركبات الفينولية، وذلك أثناء تخزين الثمار (Liu وآخرون ٢٠١٨).

تأثير الأسمدة

الحديد

لم تؤدِ زيادة التسميد بالحديد المخلوب Fe-HBED فى المحلول المغذى للطماطم عن المستوى المثالى إلى زيادة محتوى الثمار من الحديد، وعلى العكس أدى ذلك إلى إحداث تدهور فى محتوى الثمار (البيريكارب) من العناصر الدقيقة. وبينما أدت زيادة

التسميد بالحديد إلى تحفيز تمثيل البيتاكاروتين والزانثوفيللات، فإنها لم تتعارض بقوة مع أيض الأحماض الأمينية، ولم تؤثر جوهريًّا على محتوى الثمار من الأحماض الأمينية الحرة، والليكوبين، والفينولات الذائبة والفلافونويدات (Wala وآخرون ٢٠٢٢).

السيلينيم

أدت إضافة سيلينات الصوديوم للمحاليل المغذية إلى امتصاص الجذور للعنصر وانتقاله إلى الأوراق والثمار. وبينما لم تؤثر إضافة السيلينيم جوهريًّا على صفات جودة الثمار عند الحصاد، فإنها أخَّرت النضج بالتأثير على كل من التنفس وإنتاج الإيثيلين وظهور اللون بعد الحصاد. ولقد احتوى ١٠٠ جم من ثمار النباتات المعاملة بتركيز ١,٥ مجم سيلينيم/لتر من المحلول المغذى على ٢٣,٧ ميكروجرام من العنصر لكل كجم وزن جاف من الثمار، علمًا بان الجرعة المناسبة الموصى بها يوميًّا هى ٦٠ ميكروجرام للنساء، و٧٠ ميكروجرام للرجال (Puccinelli وآخرون ٢٠١٩).

كذلك أدى تزويد المحاليل المغذية للطماطم بالسيلينيم بتركيز ٢,٠ ميكرومول/لتر إلى تحسين قوة النمو النباتى ومحصول الثمار الكلى بنسبة ٦٠٪، وكذلك تحسين محصول الثمار الصالحة للتسويق، وزيادة كفاءة استعمال النيتروجين بنسبة ٦٠,٣٪. وأدت المعاملة بالسيلينيم – كذلك — إلى تحفيز محتوى الثمار من كلٍّ من حامض الأسكوربك والليكوبين. وقد ازداد محتوى الثمار من السيلينيم من ٠,١ مجم/كجم من الوزن الجاف فى نباتات الكنترول غير المعاملة إلى ٨,٩ مجم/كجم وزن جاف فى النباتات التى عُومِلت بالسيلينيم بتركيز ٤,٠ ميكرومول/لتر من المحلول المغذى (Sabatino وآخرون ٢٠٢١).

تأثير المعاملة بمنشطات ومنظمات النمو قبل الحصاد

أدت معاملة نباتات الطماطم بأى من السلالة T-22 من السلالة *Trichoderma harzianum*، أو السلالة QST713 من *Bacillus subtilis*، أو الشيتوسان إلى تحفيز إنتاج الكاروتينويدات (الليوتين والبيتاكاروتين) بالثمار، وإلى زيادة محتواها من حامض

الأسكوربك، والأحماض الفينولية (caffeoyl glucoside، و p-coumaroyl glucoside (Rendina وآخرون ٢٠١٩).

وقد وجد أن رش النموات الخضرية بحامض الأبسيسك بتركيز ٥٠٠ مجم/لتر أدى إلى زيادة محتوى النمو الخضرى من الكلوروفيل والكاروتينويدات، وإلى تحسين جودة الثمار بزيادة محتواها من الجلوكوز والفراكتوز. كما أدت تلك المعاملة (التى أجريت على أحد أصناف البيوت المحمية المحدودة النمو من طراز البيف ستيك beef-steak) إلى زيادة محتوى الأوراق من الزيازانثين zeaxanthin، والبيتاكاروتين (Barickman وآخرون ٢٠١٧).

تأثير غمر الثمار فى الماء الساخن وتعريضها لعوامل الشدّ الكيميائية

من المعروف أن تعرض النباتات لعوامل الشد الحيوى وغير الحيوى يجعلها تُنتج عناصر محبة للأكسدة reactive oxygen species (اختصارًا: ROS)؛ الأمر الذى يترتب عليه زيادة إنتاجها لمضادات الأكسدة؛ بهدف تحييد التدهور الذى تُحدثه العناصر المحبة للأكسدة. ولقد وُجد أن غمر ثمار الطماطم الخضراء المكتملة التكوين فى الماء الساخن على حرارة ٥٢ °م لمدة خمس دقائق، ثم إنضاجها على ٢٠ °م، و٨٥٪–٩٠٪ رطوبة نسبية.. أدى إلى زيادة محتواها من الكاروتينويدات والفينولات المحبة للدهون lipophilic phenolics؛ مما أدى إلى تحسن فى لونها – بزيادة دكنة لونها الأحمر – وزيادة محتواها من مضادات الأكسدة، وذلك دون التأثير على صلابتها بعد اكتمال نضجها. ولوحظ أن تلك التأثيرات الجيدة كانت أوضح فى مراحل النضج المبكرة. وقد تباينت الأصناف فى مدى استجابتها لتلك المعاملة، كما توقف تأثير المعاملة على مدى رفعها لحرارة مختلف الأنسجة؛ حيث كانت التغيرات واضحة فى النسيج المحيطى بعمق ٤ مم، الذى ارتفعت حرارته بالمعاملة إلى ٤٥ °م، بينما لم يلاحظ حدوث أى تغيرات جراء المعاملة الحرارية فى مركز الثمرة الذى كانت حرارته ٣٥ °م (Loayza وآخرون ٢٠٢٠).

وأمكن بتعريض ثمار الطماطم بعد الحصاد لشدٍّ مُتحكم فيه زيادة محتواها من مضادات الأكسدة. فلقد أدى تعريض الثمار للماء الحار على ٥٢ ْم لمدة خمس دقائق إلى زيادة ادمصاصها الكلى للشوارد المؤكسدة مقارنة بما حدث فى الثمار التى غُمِرت فى الماء على حرارة ٢٥ ْم لمدة خمس دقائق. وأدت المعاملة بالإيثلين على حرارة مرتفعة قدرها ٣٥ ْم لمدة ٢٤ أو ٤٨ أو ٧٢ ساعة إلى زيادة محتواها من الفينولات الكلية عما فى الثمار التى عُومِلت بالإيثلين على ٢٠ أو ٣٠ ْم. ولقد كان للجمع بين المعاملتين تأثيرًا تآزرى synergestic تمثل فى زيادة الفينولات الكلية. ولقد حافظت المعاملة بالماء الحار – خاصة – على مستوى الكاروتينويدات وحامض الأسكوربك عندما عُرِّضت – كذلك – للإيثلين على ٣٠ ْم لمدة ٧٢ ساعة أو على ٣٥ ْم لمدة ٤٨ أو ٧٢ ساعة (Loayza وآخرون ٢٠٢٠).

وأدت معاملة ثمار الطماطم بعد الحصاد بالـ 2,4-D (وهو أوكسين) إلى تأخير نضجها بتثبيط كلٍّ من إنتاج الإيثلين، وتراكم الكاروتنويدات، وتحلل الكلوروفيل. كذلك أدت المعاملة إلى تحفيز تراكم المركبات المتطايرة الفينولية، مثل phenylacetaldehyde (١,٥٧ ضِعف)، و 2-phenylethanol (١,٥٦ ضعف)، و methyl benzoate (١,٧٥ ضعف)، وتثبيط إنتاج 1-hexanol (٥٦,٥٩٪)، و 1-nitro-2-phenylethane (٢٣,٧٤٪)، و benzyl cyanide (٤٥,٦٩٪)، و 2-isobutylthiazole (٣٥,١٨٪). ولقد حوَّرت المعاملة بالأوكسين من تعبير عدد من الجينات المفتاحية فى تمثيل المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة (Wu وآخرون ٢٠١٨).

تأثير التعريض للضوء بمختلف ألوانه وللأشعة فوق البنفسجية بعد الحصاد

أدى تعريض ثمار الطماطم بعد الحصاد للضوء الأحمر بصورة مستمرة إلى إسراع نضجها، وإلى إحداث زيادة جوهرية فى محتواها من كلٍ من الليكوبين، والبيتاكاروتين، والفينولات الكلية والفلافونويدات الكلية، والنشاط المضاد للأكسدة (Panjai وآخرون ٢٠١٩).

وقد ازداد تركيز الليكوبين فى ثمار جميع أصناف الطماطم التى اختُبِرَت بين ٣٠٪، و ٦٠٪ عندما عُرِّضت لضوء أبيض من لمبات لِدّ LED، وذلك مقارنة بمحتوى الثمار التى خُزِّنت فى الظلام. وأدى التعرض لضوء الـ LED لمدة ساعة واحدة يوميًّا بعد الحصاد إلى تحسن فى دلائل الجودة التجارية وجودة التذوق، وزيادة محتوى الثمار من الليكوبين. وأدى تعريض الثمار لضوء LED ذات نسبة عالية من الضوء الأحمر إلى الأشعة تحت الحمراء (FR) إلى زيادة فى الليكوبين (قدرت بنحو ٤١٪ أعلى من التعريض للظلام، و٢٤٪ أعلى من معاملات الـ LED الأخرى)، وفى الصلابة مقارنة بالتعريض لضوء اللِدّ الأبيض. وأدت أعلى نسبة من الضوء الأحمر R إلى الأشعة تحت الحمراء FR إلى زيادة الحموضة المعايرة بالثمار (Nájera وآخرون ٢٠١٨).

تأثير تعريض الثمار لحقل كهربائى بعد الحصاد

أدى تعريض ثمار الطماطم بعد الحصاد لحقل كهربائى نابض pulsed electric field إلى إحداث تحسن جوهرى فى تراكم الكاروتينويدات بالثمار. هذا.. إلاّ إن تراكم الكاروتينويدات الفردية أثناء التخزين توقف على حرارة التخزين مع المعاملة الكهربائية؛ فكان تراكم الكاروتينويدات أعلى بصورة ملحوظة فى الثمار التى خُزِّنت على ١٢ ْم عما فى تلك التى خُزِّنت على ٤ أو ٢٠ ْم. ولقد أعطت المعاملة الكهربائية المعتدلة (٠,٠٢ كيلوجول kJ/كجم) أكبر حث لتراكم الكاروتينويدات الكلية (٥٨٪)، والليكوبين (١٥٠٪) فى الثمار التى خُزِّنت لمدة خمسة أيام على ١٢ ْم، وذلك دون التأثير على جودة الثمار الطازجة. وبينما أعطت أشد معاملة كهربائية (٠,٣٨ كيلوجول/كجم) أسرع تراكم للكاروتينويدات — حيث أعطت أكبر زيادة فى البيتاكاروتين (٧٧٪)، والجاماكاروتين (٢٠٠٪)، والليوتين (٢٣٨٪) فى الثمار التى خُزِّنت على ١٢ ْم لمدة يوم واحد — فإن تلك المعاملة الكهربائية أحدثت أضرارًا لا رجعة فيها بنسيج الثمرة (González-Casado وآخرون ٢٠١٨).

وفى دراسة أخرى أدى تعريض ثمار الصنف Raf بعد الحصاد لثلاثين نبضة كهربائية شدتها ٢٠٠ kV/م (٢,٣١ كيلوجول/كجم) إلى زيادة تركيز الكاروتينات الكلية

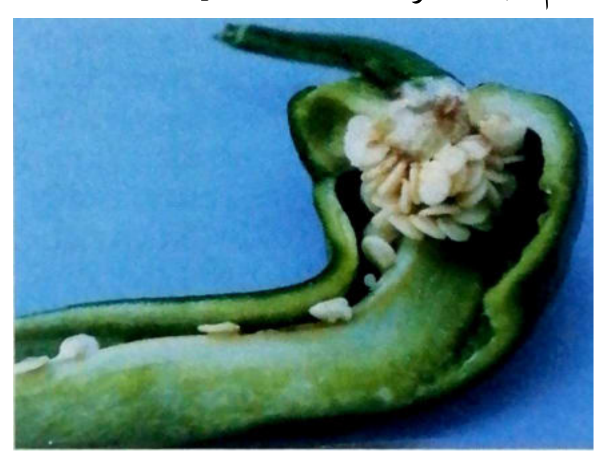
بنسبة ٥٠٪، والليكوبين بنسبة ٥٣٪، وترافق ذلك مع تحسن ملحوظ فى مضادات الأكسدة الدهنية. وبالإضافة إلى ما تقدم بيانه، فإن تلك المعاملة أعطت أعلى قيم لكل من محتوى المواد الصلبة الذائبة الكلية، والـ pH، مع احمرار واضح وطراوة للثمار (González-Casado وآخرون ٢٠١٨).

الفلفل الحلو والحار

الحرافة

ماهية الحرافة وأهميتها وتواجدها فى أنواع الجنس *Capsicum*

ترجع حرافة الفلفل الحار إلى ما تنتجه مشيمة الثمرة (شكل ١-١) من مركبات حارة يطلق عليها اسم كابسايسينويدات capsaicinoids.



شكل (١-١): قطاع فى ثمرة فلفل حار يُظهر المشيمة وما يرتبط بها من بذور. وتشكل الغدد التى تُنتج الكابسايسينويدات الشريط البرتقالى الذى يظهر بالصورة.

ويُستعمل الكابسايسين طبيًّا للتخلص من الألم، ويعد – حاليًّا – أبرز المركبات الموصى باستعمالها موضعيًّا – فى صورة كريم الكابسايسين – فى تخفيف آلام التهاب المفاصل والالتهابات (Bosland & Votava ٢٠٠٠).

كان للفلفل أهميته لمواطنى نصف الكرة الأرضية الغربى منذ ١٠ إلى ١٢ ألف سنة خلت، ولقد وُجدت بقايا نباتية فى كهوف بتلك المنطقة ترجع إلى ٧٠٠٠ سنة قبل الميلاد؛ حيث تركز استخدام الفلفل فى ذلك الزمان على الجوانب الطبية التى ثبتت صحة بعضها.

تنتمى جميع أصناف الفلفل الحلو ومعظم الأصناف التجارية الحارة للنوع *C. annuum*. ويُعد الصنف تباسكو Tabasco أهم أصناف النوع *C. frutescens*، وهو نوع يصعب تهجينه مع *C. annuum*. هذا.. إلا إن أصناف الفلفل الحار تنتمى — كذلك — إلى عدد من الأنواع الأخرى. وينتمى الصنفان Habanero، و Scotch Bonnet شديدا الحرافة للنوع *C. chinense*.

وعمومًا.. فإن الكابسابسينويدات – المسئولة عن الحرافة — لا توجد إلاّ فى الجنس *Capsicum* كما أسلفنا.

ويُشير الاسم chili فى اللغة الإسبانية إلى أى نوع أو طراز من الفلفل، ولكن يقتصر استعمال هذا الاسم فى الولايات المتحدة على الأصناف المعتدلة الحرافة التى تُجفف بصورة أساسية، وتستخدم كمادة منكهة للأغذية وفى التخليل.

المركبات المسئولة عن الحرافة

ترجع الحرافة فى ثمار الفلفل إلى خليط من سبعة مركبات vanillylamides، تعرف غالبًا بالاسم كابسايسين capsaicin وهو اسم المركب الأكثر تواجدًا. ويليه فى التواجد المركب dihydroxycapsaicin. أما باقى الكابسايسينويدات فهى أقل تواجدًا، وتتضمن: norcapsaicin، nordihydrocapsaicin، و nornordihydroxycapsaicin، و homocapsaicin، و homodihydrocapsaicin، وهى تعد ثانوية الأهمية. والكابسايسين مركب قلوانى قوى وثابت ويمكن تمييزه فى اختبارات التذوق فى محاليل يتواجد فيها بتركيز ١٠ أجزاء فى المليون. ويتشابه التركيب الكيميائى للكابسايسين ($C_{12}H_{19}NO_3$) مع تركيب البربيرين perperin، وهو المركب الذى يُكسب الفلفل الأسود مذاقه ورائحته.

وكما أسلفنا يشكل الكابسايسين capsaicin والداى–هيدروكسى كابسايسين di-hydroxycapsaicin — معًا — حوالى ٨٠٪ – ٩٠٪ من الكابسايسينويدات capsaicinoids. وفى النوع *C. annuum* يشكل المحتوى الكابسايسينويدى حوالى ٠,١ إلى ١,٠٪ من الثمرة، وتكون النسبة بين الكابسايسين والداى هيدروكسى كابسايسين حوالى ١:١. وفى النوع *C. frutescens* يشكل المحتوى الكابسايسينويدى حوالى ٠,٤ إلى ١,٠٪ وبنسبة حوالى ٢ : ١ بين المكونين الرئيسيين.

أما الكابسايسينويدات القليلة التواجد فتشمل Nordihydroxycapsaicin ، و Homocapsaicin، و Homodihydroxycapsaicin.

ولا تذوب الكابسينسويدات فى الماء، ولكنها شديدة القابلية للذوبان فى الزيوت والكحول. ويفسر ذلك عدم جدوى شرب الماء فى التغلب على آلام الحرقان بعد أكل الفلفل شديد الحرافة. والأفضل هو شرب اللبن أو تناول الآيس كريم. يحتوى اللبن على مادة الـ casein المحبة للدهون lipophilic، وهى التى تُحيط بجزيئات الكابسايسين الدهنية وتزيلها من الفم. هذا.. إلاّ أن من يتناول كثيرًا من الغذاء الحار يُطور تحملاً له، وقدرة على تحمل ما هو أشد حرارة. ويدفع الكابسايسين الجهاز العصبى لإنتاج الـ endorphins التى تعطى إحساسًا ممتعًا (Henninge ٢٠٠٨).

والكابسايسينويدات مركبات عديمة الرائحة، وعديمة اللون، وعديمة النكهة، وغير مغذية، وهى تُنتَج فى غدد على مشيمة الثمرة كما أوضحنا سابقًا، وبينما لا تعد البذور مصدرًا للحرافة، فإنها تدمص الكابسايسين لقربها من المشيمة. هذا.. ولا يشعر الإنسان بحرافة الكابسايسين عن طريق براعم التذوق taste buds باللسان، وإنما يرجع الإحساس بالحرارة بسبب تهيج خلايا العصب الثالث trigeminal cells، وهى مستقبلات الألم فى الفم والأنف والمعدة.

تعمل الكابسايسينويدات على تحفيز بعض مستقبلات الإحساس، ثم إلى وقف تأثيرها، وهى التى تُطلِق رسائل كيميائية للمخ تتعلق بالألم. ويعقب ذلك إرسال الجهاز

العصبى إشارة إلى المخ لملئ نهايات الأعصاب بالـ endodorphins، وهى مركبات قاتلة للألم، وتُعد مورفين طبيعى وآمن وتعطى الجسم إحساس بالراحة، وربما يُعد ذلك هو السبب فى أن يصبح البعض مدمنًا لأكل الفلفل الحار.

ويبين شكل (١-٢) التركيب البنائى لمختلف الكابسايسينويدات بصورتيها (الـ a، والـ b) لكل منها (عن Henning ٢٠٠٨).

Capsaicin-a

Capsaicin-b

Dihydrocapsaicin-a

Dihydrocapsaicin-b

Homocapsaicin-a

Homocapsaicin-b

Homodihydrocapsaicin-a

Homodihydrocapsaicin-b

Nordihydrocapsaicin-a

Nordihydrocapsaicin-b

شكل (١–٢): التركيب البنائى لمختلف الكابسايسينويدات.

طرق قياس شدة الحرافة

فى عام ١٩١٢ طور الكيميائى Wilbur Scoville طريقة لتقدير مستوى حرافة الفلفل الحار، أخذت الاسم Scoville Organoleptic Test، وهو اختبار وصفى يعتمد على التخفيف المستمر للتركيز لحين الوصول إلى النقطة التى لا يكون فيها أى إحساس بالحرقة فى الفم. وبناء على مدى التخفيف لحين الوصول إلى تلك النقطة يعطى كل صنف رقمًا يعكس شدة حرافته.

ويقاس عامل الحرافة بمضاعفات لمئة وحدة. فيكون الفلفل الحلو عند صفر وحدة اسكوفيل Scoville إلى أن تصل إلى ٣٠٠٠٠٠ أو إلى مليون — أو أكثر — وحدة اسكوفيل. هذا ويصل محتوى حرافة الكابسايسين النقى إلى نحو ١٥-١٦ مليون وحدة اسكوفيل. وحاليًّا يُقاس محتوى الكابسايسين بالـ liquid chromatography.

ولاختبار التذوق لأجل تقدير شدة الحرافة بوحدات الـ scoville — والذى يُجرى بخمسة أفراد — محدداته؛ حيث يتعين تدريب القائمين بالتذوق، وعدم إصابتهم بالإرهاق عند كثرة العينات، فضلاً عن عدم استطاعتهم التمييز بين مختلف الكابسايسينويدات.

ولهذه الأسباب أصبح تحليل الـ HPLC هو التحليل القياسى الروتينى فى مصانع الأغذية. ويمكن تحويل نتيجة التحليل بالجزء فى المليون إلى وحدات اسكوفل بالضرب فى ١٥.

وأمكن — كذلك — التوصل إلى تقدير تركيز مختلف الكابسايسينويدات Capsaicinoids كميًّا ونوعيًّا دونما تداخل بينهما بطريقة الـ high performance liquid chromatography (اختصارًا: HPLC) (Collins وآخرون ١٩٩٥).

تباين الحرافة بين أصناف الفلفل

نبين — فيما يلى- مستوى الحرافة بوحدات الاسكوفيل فى عدد من أصناف الفلفل الحار، علمًا بان المدى يعتمد على ظروف الإنتاج، وقد يتعداه بالنقص أو بالزيادة.

وحدات الحرافة بالـ Scoville

الصنف	المدى
Sweet Bell	0
pimento	0
cherry	00~500
Pepperoncini	100~500
El-Paso	500~700
Santa Fe Grande	500~750
Coronado	700~1000
Espanola	1000~2000
Poblano	1000~2000
Ancho	1000~2000
Mulato	1000~2000
Pasilla	1000~2000
Anaheim	500~2500
Sandia	500~2500
NuMex Big Jim	500~2500
Rocotillo	1500~2500
Pulla	700~3000
Mirasol	2500~5000
Guajillo	2500~5000
Jalapeno	2500~8000
Chipolte	5000~8000
Hot Wax	5000~10000
Puya	5000~10000
Hidalgo	6000~17000
Serrano	8000~22000
Manzano	12000~30000
Shipkas	12000~30000
De Arbol	15000~30000

يتبع

المدى	الصنف
30000~50000	Jaloro
30000~50000	Aji
30000~50000	Tabasco
30000~50000	Cayenne
40000~50000	Santaka
40000~50000	Super Chile

ومن دراسات أخرى يظهر تباين فى مستوى الحرافة بين مختلف أصناف وطرز الفلفل، كما يلى (عن The Victory Seed Company – الإنترنت – ٢٠٠٧، و Harris ١٩٩٨):

الصنف والطراز	وحدات الحرافة بالـ Scoville	الترتيب التنازلى
كايسانسين نقى	16000,000	
Habanero, Scotch Bonnet, Caribbean Red	100000 – 450000	10
Santake, Thai	50000 – 100000	9
Cayenne, Tabasco, Piquin	30000 – 50000	8
Serrano, Chile de Arbol	15000 – 30000	7
Yellow Wax, Serrano	5000 – 15000	6
Jalapeno (3500 up to 10000), Miasol	2500 – 5000	5
Sandia, Cascabel	1500 – 2500	4
Ancho (Poblano), Pasilla, Espanola	1000 – 1500	3
Anaheim, New Mexico	500 – 1000	2
Mexi-bells, Cherries	100-500	1
Mild Bells, Sweet Banana, Pimento	0 - 100	0

وعند تجفيف الفلفل فإن حرافتها تزداد بنحو ١٠ أضعاف.

ويُعد صنف الفلفل Naga Jolokia الأكثر حرافة على مستوى العالم، وهو يتبع النوع *C. chinense*، وقدرت حرافته بما مقداره ١٠٠١٣٠٠ وحدة اسكوفل للحرافة Scoville

heat units، وسُجِّل كالأكثر حرافة فى العالم بواسطة مؤسسة Guinness. تُعد حرافة هذا الصنف ضعف تلك التى توجد فى الصنف Red Savina المصنف سابقًا كالأعلى حرافة، و٢٠٠ ضعف حرافة الفلفل الجالابينو المعروف. وتبلغ ثمار الصنف ٥ –٧,٥ سم طولاً، و٢,٥ – ٣ سم قطرًا (الإنترنت http://ushotstuff.com/worldshottestchile.htm)

هذا.. وتتوفر أصناف غير حريفة من الفلفل الجالابينو، مثل Poce 105 (Russo ٢٠٠٨).

وقد تباين محتوى الكابسايسينويدات فى ١٣٩ سلالة هندية محلية من الفلفل بين ٠,٠٢، و٧٢,٠٥ مجم/جم، وتباينت النسبة بين الكابسايسين والداى هيدروكابسايسين من ٠,٣٤ إلى ٤,٩٢. وقد تراوح محتوى الكابسايسينويدات فى ٩٢ سلالة من Bhut Jolokia بين ١١,٩٥ و ٧٢,٠٥ مجم/جم، بمستوى حرافة تباين من ١٩١١٣٥ إلى ١١٥٢٨٣٢ وحدة حرارة اسكوفل. ووجد ارتباط قوى موجب (r = ٠,٩) بين محتوى الكابسايسين ومحتوى الداى هيدروكابسايسين (Islam وآخرون ٢٠١٥).

تأثر شدة الحرافة بالعوامل النباتية

أوضحت دراسة أجريت على الفلفل الحار (الهجين المزدوج CaGC87) أن لموضع العقدة التى يُحمل عندها قرن الفلفل تأثير جوهرى على شدة حرافته، وهى التى تزداد كلما اقتربت العقدة من قاعدة الساق، كما يلى:

موضع العقدة	شدة الحرافة بالـ Scoville units فى اختبار		
	الصوبة ١٩٩٦	الحقل ١٩٩٦	الحقل ١٩٩٨
الثانية	١٣٦٧٣	٩٦٦٥	١٥٥٣١
الثالثة	٥٦٤١	٦٨٦٤	١٠٢٠٠
الرابعة	٣٧١٤	٣٢١٣	١٠٩٧٢
الخامسة	٣٧٨٢	٣٧٤٦	٨٠٩٤
السادسة	٣٦٦٠	٤٥٠١	٥٩١٠

أظهرت هذه الدراسة أن الحرافة كانت أعلى جوهريًّا فى ثمار العقدة الثانية عما فى ثمار العقد الأخرى، وذلك فى جميع زراعات الدراسة (واحدة محمية وزراعتان

حقليتان) وقد انخفضت الحرافة خطيًّا مع زيادة حمل الثمار حتى العقدة السادسة. ويبدو أن الحرافة العالية فى ثمرة العقدة الثانية عما فى ثمار العقد الأخرى كان مرده إلى انخفاض عدد الثمار/نبات عند العقدة الأولى؛ ومن ثم ضعف التنافس على الغذاء والمواد الأولية المجهزة (Zewdie & Bosland ٢٠٠٠).

وكان أعلى محتوى من الكابسايسينويدات فى الثمار هى فى بداية تلوينها عما فى الثمار الحمراء أو الخضراء، ولم يتأثر المحتوى بحرارة التخزين (Park وآخرون ٢٠٠١).

العوامل الزراعية والبيئية المؤثرة فى الحرافة

للعوامل البيئية تأثير قوى على الحرافة، لدرجة أن تأثيرها قد يزيد عن ٦٠٠٠ وحدة اسكوفل، وهو ما قد يزيد عن الاختلافات الوراثية بين بعض الأصناف؛ الأمر الذى يكون له أهميته عند الإنتاج التجارى للتصنيع (Harvell & Bosland ١٩٩٧).

ويمكن للمزراعين — إلى حد ما — التحكم فى حرافة قرون الفلفل بمدى الشدِّ الذى يُعرضون له النباتات؛ فالحرافة تزداد بزيادة الشدِّ البيئى، الذى يزيد كمية ما تنتجه الثمار من الكابسايسينويدات. ويمكن لأيام قليلة حارة زيادة مستوى الكابسايسينويدات جوهريًّا. وحتى الرى بالغمر — الذى يغمر الجذور لفترة بعد الرى — يعد نوعًا من الشدِّ الذى يزيد إنتاج الكابسايسينويدات (Bosland & Votava ٢٠٠٠). وإذا ما زرع صنف واحد فى منطقة حارة شبه جافة وفى أخرى ساحلية باردة فإن محتوى الكابسايسين بثماره يكون أعلى فى المنطقة الأولى عما فى الثانية (Bosland ١٩٩٦).

تأثير الشد الرطوبى

أدى تعريض نباتات الفلفل من طراز الهابانيرو Habanero (وهو يتبع النوع *Capsicum chinense*) لشدٍّ رطوبى إلى زيادة تركيز الكابسايسين capsaicin، والـ dihydrocapsaicin بالثمار (Ruiz-Lau وآخرون ٢٠١١).

ولم ينخفض محصول أصناف الفلفل الشديد الحرافة فى ظروف شدِّ الجفاف، بينما أثَّرت تلك الظروف سلبًا على محصول الأصناف القليلة الحرافة، وتباينت الأصناف المتوسطة الحرافة فى هذا الشأن.

وقد ازداد مستوى الكابسايسينويدات فى كل الأصناف الحارة التى دُرست عندما عُرِّضت لشد جفافى باستثناء تلك العالية جدًّا ابتداءً فى محتواها من الكابسايسينويدات (Phimchan وآخرون ٢٠١٢).

تأثير نقص العناصر المغذية على الحرافة

ازداد محتوى ثمار الفلفل *C. annuum* من الكابسايسينويدات مع نقص عنصر البوتاسيوم، بينما أدى نقص الكبريت إلى خفض المحتوى (da Silva وآخرون ٢٠٢١).

تأثير المعاملة بحامض الأبسيسك على الحرافة

أدت معاملة ثمار الفلفل فى مرحلة التكوين الأخضر بحامض الأبسيسك بتركيز ١٥٠ مجم/لتر من محلول حامض الأبسيسك إلى زيادة محتواها من الكابسايسين. كذلك أدت المعاملة إلى زيادة نشاط أربعة من الإنزيمات المشاركة فى تمثيل الكابسايسين (Tian وآخرون ٢٠١٦).

تأثير ألوان الطيف على الحرافة

وجد أن الفلفل الحريف chili يزداد فيه إنتاج المركبات الكابسايسينودية capsaicinoids لدى تعرضه للضوء الأزرق، ويكون اللون أكثر تأثيرًا لدى التعرض لضوء أزرق مع ضوء أحمر، وهى المعاملة التى تزداد معها – كذلك – جوهريًّا محتوى الثمار من المواد الكربوهيدراتية الكلية والسكريات المختزلة والكاروتينات والبروتين (Gangadhar وآخرون ٢٠١٢).

الصبغات اللونية والكاروتينويدات والفلافونويدات ومضادات الأكسدة

تنشأ الألوان الخضراء والصفراء والبرتقالية والحمراء فى ثمار الفلفل من الصبغات الكاروتينويدية التى تُنتج فى الثمار أثناء نضجها. ولقد أمكن التعرف على أكثر من ٣٠ صبغة بثمار الفلفل.

وتتضمن الصبغات، ما يلى:

١- الكلوروفيل (a، و b) الأخضر

٢- الصبغات الصفراء البرتقالية: lutein، و zeaxanthin، و violaxanthin، و antheraxanthin، و ß-cryptoxanthin، و ß-carotene.

٣- الصبغات الحمراء: capsanthin، و capsorubin، و cryptocapsin، وهى التى لا توجد سوى فى ثمار الفلفل.

ويرجع اللون الأحمر فى الثمار إلى الصبغتين الكاروتينويديتين capsanthin، و capsorubin، بينما يرجع اللون الأصفر البرتقالى إلى البيتاكاروتين والـ Violaxanthin.

يشكل الـ capsanthin — وهو الكاروتينويد الرئيسى بثمرة الفلفل — حوالى ٦٠٪ من الكاروتينويدات الكلية، وهو- مع الـ capsorubin- يزدادان تدريجيًّا مع النضج (Bosland & Votova ٢٠٠٠).

وتُعد الـ keto-carotenoids، والتى تشمل الـ capsanthin، والـ capsorubin، والـ cryptocapsin كاروتينويدات فريدة فى نوعها. وكما أسلفنا.. يكون مرد معظم اللون الأحمر بالثمار الشِلِى إلى الكاروتينويدات capsanthin، و capsorubin، بينما يرجع اللون الأصفر البرتقالى إلى كلٍّ من البيتاكاروتين، و violaxanthin. ويُسهم الـ capsanthin — وهو الكاروتينويد الرئيسى فى الثمار الناضجة بنسبة تصل إلى ٦٠٪ من الكاروتينويدات الكلية. ويزداد كلٌّ من الـ capsanthin والـ capsprubin بصورة متناسقة مع التقدم فى نضج الثمرة، علمًا بأن الـ capsanthin هو الأكثر ثباتًا (Bosland ١٩٩٦).

هذا.. وتتوفر أصناف تجارية من الفلفل ذات ثمار خضراء، وصفراء، وحمراء، وبرتقالية، وبنية، وبيضاء، وسوداء، وقرمزية أو بنفسجية (Frank وآخرون ٢٠٠١).

وعندما دُرس محتوى ثمار الفلفل البنفسجية والسوداء اللون من صبغات الأنثوسيانين والكاروتينويدات.. وجد أن بكليهما صبغة أنثوسيانينة وحيدة، هى: delphinidin-3-

pcoumaroyl-rutinoside-5-glucoside. وكان تركيز الكلوروفيل بالثمار أعلى بنحو ٢٠ ضعف فى الثمار السوداء مقارنة بتواجده فى الثمار البنفسجية، وهو الذى كان قليلاً نسبيًّا. كذلك كان تركيز الكاروتينويدات: البيتاكاروتين B-carotene، والليوتين lutein، والفيولازانثين violaxanthin، والنيوزانثين neoxanthin فى ثمار الفلفل السوداء أعلى جوهريًّا، مقارنة بتركيزها فى الثمار البنفسجية. ولقد كان التلون بالأسود فى أوراق وثمار بعض التراكيب الوراثية للفلفل مرده إلى تواجد تركيزات عالية من الـ delphinidin مع الكلوروفيل ضمن صبغات كاروتينية ملحقة بهم (Lightbourn وآخرون ٢٠٠٨).

وقد قُورن محتوى ثمار أصناف متوارثة heirloom من طراز الفلفل الجالابينو من الفلافونويدات الرئيسية، وذلك فى الثمار الناضجة وغير الناضجة من زراعات عضوية وتقليدية. كان للصنف ومرحلة النضج تأثير عالٍ على تباينات محتوى الفلافونويدات، بينما كان لنظام الزراعة تأثيرًا أقل. وقد أسهم الليوتيولين luteolin والكورستين quercetin بأعلى قدر من المحتوى الفينولى الكلى (٧٠٪، و٢٠٪ على التوالى) فى مرحلتى النضج، بينما كان إسهام الميريستين myricetin، والأبيجينين apigenin، والكامبفيرول أقل. كان متوسط المحتوى الفلافونويدى أعلى فى الثمار الناضجة، وأحدثت الزراعة العضوية زيادة جوهرية فى تراكم الفلافونويدات الكلية والليوتيولين. ووجدت ارتباطات جوهرية بين الفلافونويدات خلال مرحلتى النضج، وخاصة بين الفلافونويدات الرئيسية ليوتيولين وكورستين وبين الكامبفيرول والكورستين (Ribes-Moya وآخرون ٢٠٢٠).

وبدراسة محتوى ثمار ٣١ صنفًا وسلالة من الأنواع *Capsicum annuum*، و *C. baccatum*، و *C. chinense* (وجميعها تكمل تكوينها وهى بلون أصفر) من بعض المركبات الهامة لصحة الإنسان، وجد إنه على أساس الوزن الجاف — يتباين فيها محتوى الليوتين lutein (وهى صبغة كاروتينية صفراء اللون) بين ٠,١٤، و٩٤,٢ ميكروجرام/جم، والفينولات الكلية بين ٥,٧٩، و١٥,٠١ مجم/جم. هذا ولم يتواجد الليوتين فى إحدى السلالات والبيتاكاروتين فى أربع سلالات. وفى تسع سلالات فقط شكل الليوتين ٥٠٪ من الكاروتينات الكلية فى كل سلالة منها (Guzman وآخرون ٢٠٢٠).

الفيتامينات

يعد الفلفل من المصادر الغنية بفيتامينات A، و C، و E وبمضادات الأكسدة.

فيتامين أ

يشكل البيتاكاروتين ٩٥٪ من بادئ فيتامين أ فى الثمار الخضراء، و٩٣٪ من البادئ فى الثمار الحمراء الناضجة. ولقد وُجد فى طُرز الفلفل الصفراء الشمعية أن الألفاكاروتين، والبيتاكاروتين، ونشاط بادئ فيتامين أ تزداد بنحو ٣٤٤٪، و٢٥٥٪، و٢٢٩٪ مع نضج الثمرة (Bosland & Votova ٢٠٠٠).

فيتامين ج

يُعد الفلفل من أغنى الأغذية فى فيتامين ج؛ فهو يحتوى على ٦ أضعاف ما يحتويه وزن مماثل من البرتقال من هذا الفيتامين. ويمكن لثمرة الفلفل أن تحتوى على ٣٤٠ مجم من فيتامين ج/١٠٠جم وزن طازج. ويمكن لثمرة واحدة متوسطة الحجم يبلغ وزنها ١٥٦ جم مدّ الإنسان بنحو ١٣٠٪ من احتياجاته اليومية من الفيتامين (Bosland & Votava ٢٠٠٠).

فيتامين هـ (E)

تُعد ثمار الفلفل مصدرًا غنيًّا بفيتامين E، والذى مصدره التوكوفيرولات tocopherols. ولقد وُجد أن مسحوق الفلفل الأحمر المجفف يحتوى على مستويات من الألفاتوكوفيرول تقارن بمستواها فى السبانخ والأسبرجس، وتعادل — على أساس الوزن الجاف — أربعة أضعاف المحتوى فى الطماطم. وبينما يحتاج الإنسان إلى حوالى ٨-١٠مجم يوميًّا من الألفاتوكوفيرول، فإن كل ١٠٠ جم وزن جاف من الثمار الحمراء يتراوح محتواها من الفيتامين بين ٣٫٧، و٢٣٦ مجم. يتواجد هذا الفيتامين — كذلك — فى البذور والبيريكارب. ويزداد محتوى الثمار من الفيتامين مع تقدمها فى النضج (Bosland & Votava ٢٠٠٠).

محتوى الميلاتونين

يُعد الميلاتونين melatonin (وهو: N-acetyl-5-methoxytryptamine) من الهرمونات الحيوانية المعروفة، ولكن أمكن عزله — كذلك — من عديد من الكائنات، منها البكتيريا والطحالب واللافقاريات، وحديثًا أمكن عزله من النباتات الزهرية. وقد وُجد الميلاتونين بتركيز عالٍ فى بادرات الفلفل فى مرحلة نمو الأوراق الفلقية (١٠٨,٦ — ١١١,٦ نانوجرام/جم وزن طازج)، مع انخفاض تدريجى فى المحتوى مع تقدم النبات فى العمر. كذلك وُجد أن الميلاتونين يتراكم بتركيز عالٍ فى البذور المكتملة التكوين، ويتراكم بتركيزات متباينة فى الثمار والأوراق والجذور حسبٍ مرحلة التكوين (Korkmaz وآخرون ٢٠١٤).

المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة

يتواجد المركب المتطاير بيرازين pyrazine (وهو: 2-methoxy-3-isobutyl-pyrazine) فى الفلفل الأخضر، وهو المسئول عن نكهته المميزة، ويمكن للإنسان تمييز رائحة ذلك المركب عند تركيز ٢ جزء فى التريليون. ولقد وُجد فى إحدى الدراسات أن ثمار الفلفل من *C. annuum*، و *C. frutescens* تحتوى على ١٠٢ مركبًا متطايرًا. وفى دراسة أخرى وُجد أن المستخلص الزيتى للصنف Tabasco من *C. frutescens* يحتوى على ١٢٥ مركبًا متطايرًا. ولقد اختلفت تلك المركبات جوهريًّا عما فى الفلفل الأخضر، ولم يحتوى على أى مركبات pyrazine. وتطلب إعادة تكوين نكهة الفلفل التاباسكو ثلاثة مركبات رئيسية، هى: 4-methtyl-1-pentyl-2-methylbutyrate، و 3-methyl-1-pentyl-3-methylbutyrate، و isohexyl-isocaproate (Bosland & Volava ٢٠٠٠).

العوامل المؤثرة فى صفات جودة الثمار ومحتواها من المركبات الهامة طبيًّا

التباينات الصنفية

يتميز طراز الفلفل البابريكا بارتفاع محتواه من حامض الأسكوربيك والفلافونويدات: كورستين quercetin، وليوتيولين lueteolin، بينما يتميز الفلفل السِرَّانو Serrano بارتفاع محتواه من الكابسايسين والداى هيدروكسى كابسايسين (Bulcher وآخرون ٢٠١٣).

عوامل الشد البيئى

تحتوى ثمار الفلفل المنتجة فى ظروف الشدِّ الحرارى على قدرٍ أكبر من مضادات الأكسدة عما تحتويه تلك المنتجة فى الظروف الأقل حرارة (Yosuor وآخرون ٢٠١٥).

هذا.. وتتراوح أنسب حرارة لاكتساب ثمار الفلفل لونها الأحمر بين ١٨، و٢٤ ْم. ويؤدى ارتفاع الحرارة عن ذلك إلى أن يصبح اللون الأحمر مشوبًا بالصفرة، كما يؤدى انخفاضها عن ذلك إلى إبطاء التلوين بشدة إلى أن يتوقف تمامًا فى حرارة ١٣ ْم.

معاملات زراعية خاصة

التسميد والتخصيب بالعناصر الهامة للإنسان

مقارنة بمعاملة الكنترول، أدى التسميد بالمغنيسيوم إلى زيادة محصول الفلفل بنحو ٢٥,٦٪ فى المتوسط، لكن لم تحدث زيادة جوهرية فى المحصول بزيادة معدل التسميد عن ١١٢,٥ كجم أكسيد مغنيسيوم/هكتار (٤٧ كجم أكسيد مغنيسيوم/فدان). وقد أدت المعاملة بالمغنيسيوم إلى زيادة تركيز المغنيسيوم والكابسايسينويدات بالثمار، مع خفض فى محتواها من كلٍّ من الكالسيوم والزنك وفيتامين ج، دون أن يكون للزيادة تأثير على محتوى الثمار من البوتاسيوم والحديد (Lu وآخرون ٢٠٢٠).

ويمكن أن يصل محتوى اليود فى ثمار الفلفل النامية فى محاليل مغذية تحتوى على ٠,٢٥–٥,٠ مجم/لتر يوديد بوتاسيوم KI.. يمكن أن يصل إلى ٣٥٠–١٣٣٠ ميكروجرام/كجم وزن طازج، وهو ما يزيد عن الاحتياج اليومى للفرد الذى تُقدره منظمة الصحة العالمية بنحو ١٥٠ ميكروجرامًا/يوم. ويعنى ذلك أن الفلفل يمكن الاعتماد عليه كمحصول يمكن رفع قيمته الغذائية. وإضافة إلى ما تقدم بيانه.. فإن المستويات المنخفضة إلى المتوسطة من يوديد البوتاسيوم فى المحلول المغذى (٠,٢٥–١,٠ مجم/لتر) حسَّنت من جودة الثمار؛ حيث رفعت محتواها من حامض الأسكوربيك والسكريات الذائبة وخفَّضت من الحموضة الكلية فيها. وقد صاحبت معاملة اليود زيادات فى تركيز كلوروفيل أ، وفى نشاط الإنزيمات CAT، و POD، و SOD فى الأوراق، مع انخفاض فى تركيز MDA.

وكان لتلك التغيرات فى قدرة البناء الضوئى ومضادات الأكسدة بالنبات تأثيرها فى تحسين جودة ثمار الفلفل (Lu وآخرون ٢٠١٧).

بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو

أدت معاملة جذور بادرات الفلفل وهى مازالت فى المشتل قبل شتلها بالبكتيريا *Bacillus amyloliquefaciens* إلى زيادة محتوى الثمار من البروتين الخام والدهون والكالسيوم والحديد وفيتامين ج والمحتوى الفينولى الكلى ومضادات الأكسدة، ولكنها أنقصت من محتوى السكريات المختزلة والبوتاسيوم والنحاس، وذلك دون التأثير على الكربوهيدرات الكلية والرماد وصبغات البناء الضوئى (Cisternas-Jamet وآخرون ٢٠١٩).

معاملات خاصة للنمو الخضرى

أدى الرش قبل الحصاد بأى من حامض الأسكوربك أو لاكتات الكالسيوم ثم التخزين على ٧ ْم إلى إحداث زيادة فى صلابة الثمار وفى محتواها من الكلوروفيل والكاروتينويدات والمواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة، مع انخفاض فى الفقد فى الوزن. كذلك أظهرت ثمار النباتات المعاملة بأى من المركبين زيادة فى محتوى الثمار من الفينولات والفلافونويدات والقدرة على الأكسدة، وتراكم بها حامض الأسكوربك، وذلك أثناء التخزين لمدة ٣٠ يومًا على ٧ ْم (Barzegar وآخرون ٢٠١٨).

مرحلة النضج

برغم اختلاف أصناف الفلفل — سواء أكانت حلوة، أم حريفة — فى محتوى ثمارها من مختلف أنواع الكاروتينات (β-cryptoxanthin, α-carotene, β-carotene, capsanthin, xanthophylls & zeaxanthin بالإضافة إلى الكاروتينات الكلية)، فإن محتوى الثمار يزداد من جميع أنواع الكاروتينات فى كل الأصناف مع التقدم فى النضج، ويصل إلى أعلى مستوياته فى الثمار الحمراء (Russo & Howard ٢٠٠٢).

وقد دُرس تأثير حصاد ثمار صنف الفلفل الحار Wanda فى مرحلتى النضج الأصفر والبرتقالى، مع التخزين لمدة ٢١ يومًا على حرارة ٢، و٧، و١٠ ْم ووُجد أن الثمار التى حُصدت فى مرحلة النضج الأصفر احتفظت بجودة أعلى عن تلك التى كان حصادها فى

مرحلة النضج البرتقالى فى جميع درجات الحرارة. وكان محتوى المواد الصلبة الذائبة أعلى فى الثمار التى حُصدت فى طور النضج البرتقالى (٩,٥٪) عما فى تلك التى كان حصادها فى طور النضج الأصفر (٧,٨٪). ولم تؤثر المعاملات التجريبية على الحموضة المعايرة (٠,١٣٪) أو الـ pH (٥,٣). وتأثر معدل التنفس بحرارة التخزين وليس بمرحلة النضج، وتراوح بين ١٢، و٢٥ مجم/كجم بعد ثمانية أيام من التخزين. ولقد احتوت الثمار التى حُصدت فى مرحلة النضج البرتقالى ضعف محتوى الثمار التى حُصدت وهى صفراء اللون من الكاروتينويدات الكلية؛ فكانت ١٢٢ ميكروجرام/جم مقارنة بـ ٥٨ ميكروجرام/جم لمرحلتى النضج، على التوالى. وتراوح المحتوى الكابسايسينويدى بين ١٨١٠، و٤٤٤٠ ميكروجرام/جم، وكان أعلى قليلاً فى الثمار التى حُصدت برتقالية اللون (Kan وآخرون ٢٠٢٠).

وقد وُجد تأثير إيجابى واضح لتلقيح الجذور بالبكتيريا المنشطة للنمو *Bacillus amyloliquaefaciens* على محتوى الثمار من الكالسيوم والحديد وفيتامين ج والمركبات المضادة للأكسدة. وكان لمرحلة تكوين الثمار تأثير معنوى على الصبغات الطبيعية والمركبات الفينولية والمضادة للأكسدة، وهى التى ازدادت مع زيادة تلون الثمار (Cisternas-Jamet وآخرون ٢٠٢٠).

ولقد أمكن باستخدام الـ new-generation near-infrared spectroscopy sensor (اختصارًا: NIRS) التعرف على محتوى ثمار الفلفل اللاميو Lamuyo من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة، وهى التى كانت — جميعها — أعلى جوهريًّا فى الثمار الحمراء عما فى الدرجات الأقل من النضج (اللون البرتقالى والشوكولاتى والأخضر). لكن نظرًا لأن ثمرة الفلفل مجوفة وغير منتظمة الشكل وذات محتوى رطوبى عالٍ، فقد لزم استخدام عينات كبيرة من الثمار للتقدير (Sánchez وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير ألوان الطيف والأشعة فوق البنفسجية

أدت معاملة ثمار الفلفل الهابارينو الخضراء (habareno الذى يتبع النوع *C. chinense*) بالضوء الأزرق لمدة ثلاث دقائق ثم للأشعة فوق البنفسجية ج UV-C لمدة نصف دقيقة قبل تخزينها على ٤–٥ °م لمدة ٣٠ يومًا.. أدت إلى تحفيز تمثيل

الكاروتينويدات الكلية، والفلافونويدات الكلية، والفينولات الكلية، والكابسايسين الكلى والنشاط المضاد للأكسدة، وكذلك إلى تحفيز الكلوروفيللات فى الأيام الأولى من المعاملة (Pérez-Ambrocio وآخرون ٢٠١٧).

وأحدث تعريض ثمار الفلفل الأحمر – أثناء تخزينها على ٧ °م – للأشعة فوق البنفسجية ب UVB، أو ج UVC أو لكليهما معًا بجرعة ٦ كيلوجول/م٢ لكليهما.. أحدث تغيرات إيجابية فى محتوى الثمار من كلٍّ من الفينولات والفلافونويدات. فبعد ١٤ يومًا من التخزين أدت معاملة الـ UVB والـ UVC إلى زيادة محتوى الكاروتينويدات الكلية بنسبة ٥٩٪، وأدت المعاملتين معًا إلى زيادتها بنسبة ٩٤٪، مقارنة بثمار الكنترول التى لم تُعامل. وقد استحثت معاملات الـ UVC، و UVB، والـ UVB+C زيادات فى تمثيل الفلافونويدات قدرت بنسبة ٤٢٪، و ٦٦٪، و ٤٣٪ – على التوالى – بعد المعاملة مباشرة، مقارنة بثمار الكنترول التى لم تعامل. وتحفَّز هذا السلوك فى معاملتى الـ UVC، والـ UVB+C بعد ٨ أيام من التخزين على ٧ °م (١٥٪، و٤٤٪، على التوالى)، وبعد ١٤ يومًا من التخزين على ٧ °م (١٤٦٪، و١٣٧٪، على التوالى)، مقارنة بثمار الكنترول، واستمر ذلك بعد فترة العرض بالأسواق التى استمرت لمدة ٤ أيام على ١٨ °م (Castillejo وآخرون ٢٠٢٢).

الميكوتوكسينات وأضرارها الطبية

تتلوث البابريكا بالميكوتوكسين mycotoxin بسهولة، وهو من الأفلاتوكسينات aflatoxin التى تُعد من أقوى المركبات المسرطنة، وهى تتواجد فى البابريكا. ومن أضرارها الأخرى على صحة الإنسان أنها سامة وتسبب مشاكل عقلية. وأكثر الألفلاتوكسينات ضررًا وأقواها تأثيرًا B_1، و B_2، و G_1، و G_2، وهى توجد جميعًا فى البابريكا.

وتُنتج الأفلاتوكسينات بعض سلالات الفطرين *Aspergillus flavus*، و *Aspergillus parasiticus*. وتشجع الحرارة العالية والرطوبة العالية على نموها بسهولة على الثمار قبل وبعد تجفيفها، خاصة وأن الثمار الجافة تُعد محبة للرطوبة

التى تشجع إصابتها بالأعفان. وتُلزم رطوبة نسبية تقل عن ٧٠٪ وحرارة تزيد عن ٤٥ ْم لمنع تكوين الأفلاتوكسين، بينما يتعين تجفيف البابريكا حتى ١٤٪ محتوى رطوبى مع التخزين على حرارة تقل عن ٢٠ ْم. ولذا يلزم استبعاد أى ثمرة يظهر عليها أى عفن فى الحقل أو بعد الحصاد. ويجب أن تزيد حرارة التجفيف عن ٤٥ ْم ليتم التجفيف سريعًا لأجل خفض رطوبة الثمار إلى مستوى آمن بأسرع ما يمكن. وإذا ما حدثت إصابة وأُنتجت الأفلاتوكسينات يُصبح من غير الممكن التخلص منها بالحرارة أو بالطهى.

وتتواجد فى البابريكا ومنتجات الفلفل الشلى الأخرى أنواع عديدة أخرى من الأفلاتوكسينات التى تنتجها فطريات، منها *Aspergillus ochraceus*، و *Penicillum viridicatum*، و *Pencillium expansum* *Fusarium* spp.، و *Penicillium urticae*، و *Alternaria alternata*.

ومما يُثير القلق أن الدراسات التى أُجريت فى الولايات المتحدة وأوروبا واليابان أوضحت تلوث نسبة كبيرة من العينات التى جرى فحصها من البابريكا والفلفل الشلى بالأفلاتوكسينات. وبينما لا يُسمح بأفلاتوكسينات تزيد عن ٢٠ جزء فى البليون فى الولايات المتحدة، وعن ٥ أجزاء فى البليون فى أستراليا ونيوزيلندا، و ٢ جزء فى البليون فى ألمانيا، فإن التلوث وصل إلى ٥٢٥ جزءًا فى البليون فى إثيوبيا، و٤٨ جزءًا فى البليون فى الهند، و٥١ جزءًا فى البليون فى المملكة المتحدة، و٢٣٤ جزءًا فى البليون فى إيطاليا (Dris وآخرون ٢٠٠١).

الباذنجان

الأهمية الغذائية للباذنجان البيبى

وجد أن ثمار الباذنجان الصغيرة (البيبى baby) — من الأصناف القرمزية اللون — تحتوى على قدر أكبر من مضادات الأكسدة، وحامض الكلوروجنك، والكاروتينويدات، وحامض الأسكوبيك عن الثمار التى تُحصد وهى مكتملة التكوين (Zaro وآخرون ٢٠١٤)

تأثير العقد البكرى على صفات جودة الثمار

تُستخدم منظمات النمو لتحسين العقد عند انخفاض الحرارة عن ١٥ °م؛ الأمر الذى يُساعد فى إنتاج ثمار بكرية العقد خالية من البذور.

ويصاحب العقد البكرى التغيرات التالية فى الثمار، مقارنة بما يحدث فى الثمار البذرية:

١- انخفاض محتوى النشا.

٢- انخفاض محتوى السكروز (وهو الذى يبلغ أعلى تركيز له فى مرحلة النضج الاستهلاكى).

٣- انخفاض محتوى البروتين.

٤- زيادة محتوى الفينولات، وهى التى ارتبطت بالنشاط المضاد للأكسدة.

٥- انخفاض نشاط البولى فينول أوكسيديز والبيروكسيديز.

٦- ازدياد التلون البنى (Makrogianni وآخرون ٢٠١٧).

الفصل الثانى

القرعيات:
البطيخ – الكنتالوب – الخيار – القرع

البطيخ

المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة وتأثير الأصول عليها

أمكن التعرف على ٢٠ مركبًا متطايرًا رئيسيًّا فى البطيخ المنى mini، تضمنت ٩ ألديهدات، و٤ كحولات، وإثنان من التربينات terpenes، وخمسة تربينويدات terpenoids. وبمقارنة الصنف Rugby بالصنف Cuoredolce كان الأول أبكر ومركباته المتطايرة محببة أكثر. ولقد أمكن بقياسات الأنف الإليكترونية electronic nose التمييز بين الصنفين — وبدرجة أقل– بين مراحل النضج (Bianchi وآخرون ٢٠٢٠).

ووجد فى دراسة على مركبات النكهة المتطايرة فى البطيخ الـ mini أن أكثرها تواجدًا كانت ألديهدات وكحولات ذات سلاسل كربونية C_6، و C_9، وكان أهمها كلاً من:

(Z)-2-nonenal

(E,Z)-2,6-nonadienal

(Z)-3-nonen-1-ol

(Z,Z)-3,6-nonadien-1-ol

ولقد وُجدت اختلافات كمية فى تلك المركبات بين مختلف الأصول المستخدمة فى التطعيم، وهى التى انتُخِبت على أساس مقاومتها للأمراض. وتبين أن الأصل RS841

كان أفضلها فى المحافظة على المحصول مع صفات الجودة، وخصائص النكهة والمركبات المتطايرة. وتُشير الدراسة إلى أهمية اختيار الأصل المناسب للمحافظة على صفات الجودة مع المحصول الجيد (Tripodi وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير الأصول والتسميد البوتاسى على صفات الجودة

دُرس تأثير تطعيم البطيخ على أصول من البطيخ البرى واليقطين والقرع العسلى فى مستويين من البوتاسيوم (العادى: ٦,٠ مللى مول K، ومنخفض: ٠,١ مللى مول K) على مكونات ثمار البطيخ، ووُجد أن التطعيم أدى إلى زيادة محتواها من السترولين citrulline، والمثيونين methionine، والأيزوليوسين isoleucine، والفينيل آلانين phenylalanine، والليوسين leucine، والفالين valine، وذلك فى مستوى البوتاسيوم الطبيعى. وأدى خفض مستوى التسميد بالبوتاسيوم إلى خفض محتوى الثمار من السكروز وزيادة محتواها من السترولين (Zhong وآخرون ٢٠١٩).

الكنتالوب

فوائد طبية للنبات

استُخدمت أوراق وبذور الكنتالوب منذ القدم فى معاملة الورم الدموى hematoma، واستُخدمت السيقان لخفض ضغط الدم المرتفع (عن Thakur وآخرين ٢٠١٩).

الخيـــار

تأثر مركبات النكهة المتطايرة بحرارة التخزين

لدى مقارنة التخزين على ٤ ْم مقارنة بالتخزين على ٢٥ ْم، وُجد أن محتوى ثمار سلالتان مربتان داخليًّا من الخيار من المركبات المتطايرة الكلية كان أقل، ووصولها إلى مرحلة القمة peak أكثر تأخيرًا فى تلك التى خُزنت على ٤ ْم مقارنة بتلك التى خُزنت على ٢٥ ْم، بينما كان إنتاج مركبات الـ C_6 أسرع عن إنتاج مركبات الـ C_9 فى درجتى

حرارة التخزين، وفى كلتا السلالتين. وكانت نسبة محتوى (E,Z)-2,6-nonadienal إلى محتوى (E)-2-nonenal بالثمار أعلى فى حرارة تخزين ٢٥ْم عما فى حرارة ٤ْم فى كلتا السلالتين (Yang وآخرون ٢٠٢٠).

القـــرع

تراكم الكاروتينويدات فى الثمار أثناء نضجها

دُرست التغيرات فى محتوى ثمار سلالتين مربتين داخليًّا inbred lines من القرع *Cucurbita maxima* أثناء نضجها. كانت إحدى السلالتين ذات لب mesocarp برتقالى، وهى السلالة 312-1 بينما كانت السلالة الأخرى ذات لب أبيض، وهى السلالة 98-2. ومع تقدم النضج وزيادة شدة التلوين فى ثمار السلالة 312-1 ازداد فيها تراكم الليوتين lutein، والبيتاكاروتين، والزيانثين، بينما أدى انعدام تراكم الكاروتينويدات فى السلالة 98-2 إلى جعل لبها أبيض اللون. هذا.. وكان تعبير الجينين LCY-e، و CHYB أعلى جوهريًّا فى السلالة 312-1 عما فى السلالة 98-2، وكان تعبيرهما مرتبطًا بقوة مع محتوى الثمار من الليوتين والبيتاكاروتين أثناء نضجها (Luo وآخرون ٢٠٢١).

الفصل الثالث

الخضر البقولية:
البسلة – الفاصوليا – اللوبيا

البسلة

تأثر صفات جودة الحبوب بالصنف والبيئة فى البسلة الجافة

وُجد أن التركيب الوراثى كان له تأثير إيجابى على محتوى البذور من البروتين والنشا الكلى، والكربوهيدرات الذائبة فى الماء، والمركبات الفينولية، ومتوسط حجم حبة النشا، والصفات الأكلية rheological properties (اللزوجة). كذلك كان لبيئة النمو تأثيرات جوهرية على حجم حبة النشا، ومحتوى حامض الفيتيك phytic acid، والكربوهيدرات الذائبة فى الماء، وبعض المركبات الفينولية. وكان للتفاعل بين الوراثة والبيئة تأثيره على محتوى البروتين وبعض المركبات الفينولية (Maharjan وآخرون ٢٠١٩).

التخصيب البيولوجى

يُعنى بالتخصيب البيولوجى biofortification معاملات زيادة محتوى الجزء المأكول من النباتات من العناصر الدقيقة بالطرق الزراعية التقليدية (كما فى حالات التخصيب enrichment)، وكذلك بطرق التربية. وقد تناول Guindon وآخرون (٢٠٢١) هذا الموضوع فى البسلة بالتفصيل.

الفاصوليـا

التغيرات فى تراكم السكريات بالقرون أثناء نموها

يتباين نظام تراكم مختلف السكريات فى قرون الفاصوليا أثناء نموها. وبصورة عامة .. ينخفض محتوى الفراكتوز والجلوكوز، بينما يرتفع محتوى السكروز مع زيادة حجم القرن فى الفاصوليا الخضراء. وعلى خلاف ذلك.. يزداد تركيز الفراكتوز والجلوكوز، بينما لا

يتغير تركيز السكروز أثناء نمو القرن فى الفاصوليا الجافة. ويُعد أفضل حجم للقرون لظهور الاختلافات بين الأصناف فى تركيز السكريات هو: sieve size No. 3 (٧,٣٤–٨,٣٣ مم)، وsieve size No. 4 (٨,٣٣–٩,٥٢ مم) (VandenLangenberg وآخرون ٢٠١٢).

وقد ازدادت كتلة البذور نسبة إلى كتلة القرن بزيادة عدد الأيام بعد الإزهار، لكن معدل الزيادة تباين بين الأصناف المقيمة. ولقد لوحظت اختلافات جوهرية فى نمط تراكم السكريات الأحادية والثنائية مع الوقت، وذلك بين القرون والبذور. فالجلوكوز والفراكتوز انخفضا سريعًا فى القرون والبذور مع الوقت بعد الإزهار. وعلى خلاف ذلك.. ازداد تركيز السكروز فى نسيج القرن، لكنه بقى ثابتًا فى بذور أصناف الفاصوليا الخضراء مع الوقت بعد الإزهار. كان نمط التغيرات فى تركيز السكريات فى القرون والبذور مع الوقت بعد الإزهار متماثلاً بين جميع أصناف الفاصوليا الخضراء المقيمة. وفى مقابل الفاصوليا الخضراء، فإن سكروز البذور ازداد مع الوقت بعد الإزهار فى صنف الفاصوليا الجافة Puebla 152. وكانت القرون الخضراء الحديثة الأعلى فى دليل الحلاوة وتركيز السكر. وعلى الرغم من تباين متوسط الحلاوة بين الأصناف، فإن معدل الانخفاض فى الحلاوة مع الوقت كان متماثلاً فى كل الأصناف (Gartner وآخرون ٢٠٢٠).

زيادة محتوى القرون والبذور من الزنك بالتخصيب بالعنصر

أدى التسميد بسلفات الزنك فى تربة فقيرة بالعنصر إلى زيادة إنتاج القرون وزيادة محتواها من الزنك (de Almeida وآخرون ٢٠٢٠).

كذلك أدى الرش الورقى بالزنك المخلوب على الهستدين إلى إحداث زيادة جوهرية فى محصول البذور، مقارنة بالرش الورقى بكبريتات الزنك. وازداد تركيز الزنك فى البذور بمعاملة بذور التقاوى seed priming إما بالزنك المخلوب على المثيونين أو الزنك المخلوب على الهستدين، حسب الصنف. وكانت معاملة البذور بالزنك المخلوب على الأحماض الأمينية أكثر كفاءة عن الرش الورقى بكبريتات الزنك فى زيادة محصول البذور وزيادة تركيز الزنك فيها، وكذلك فى زيادة تركيز المواد الكربوهيدراتية الذائبة فى الماء فيها (Tabesh وآخرون ٢٠٢٠).

اللوبيـــا

الأهمية الغذائية والطبية

تُعد بذور اللوبيا غنية فى الحمضين الأمينيين ليسين lysine، وتريبتوفان tryptophan، وذلك مقارنة بالحبوب. هذا إلا إنها تعد فقيرة فى الحمضين الأمينيين مِثيونين methionine، وسيستين cystine، وذلك مقارنة بالبروتين الحيوانى. وبذا فهى مكملة للحبوب بالنسبة لنوعية البروتين.

وبسبب محتوى بذور اللوبيا العالى من الألياف (الذائبة وغير الذائبة) والبروتين والببتيدات، فإنها تُعد مضادة للإصابة بالسكر ومضادة للسرطان، ومضادة للالتهابات ومضادة للحساسية، لكن البحوث لم تجمع على تلك التأثيرات (Jayathilake وآخرون ٢٠١٨).

زيادة محتوى البذور من السيلينيم بالمعاملة بالعنصر

أمكن زيادة محتوى بذور اللوبيا من عنصر السيلينيم بالرش الورقى بسيلينات الصوديوم Na_2SO_4 بتركيزات تراوحت بين ١٠، و٤٠ جم من السيلينيم للهكتار، وذلك دون حدوث تأثيرات سلبية على نمو وتطور النبات ومحصول البذور (Ramos وآخرون ٢٠٢٠).

الفصل الرابع

الفراولـــة

الصبغات اللونية ومضادات الأكسدة والعوامل المؤثرة فيها

يُعد الكلوروفيل والأنثوسيانينات أهم الصبغات المسئولة عن لون ثمرة الفراولة. وأثناء نمو الثمار، وما أن تصل الثمار إلى أكبر حجم لها، فإنها سريعًا ما تفقد اللون الأخضر السطحى بتحلل الكلوروفيل. وفى الوقت ذاته — أو بعد ذلك بقليل — يبدأ تراكم الأنثوسيانينات؛ الأمر الذى يرتبط بحثّ تمثيل إنزيم phenylalanine-ammonia-lyase، وتمثيل الـ uridine diphosphate glucose. ومرد اللون الأحمر النهائى للثمرة يرجع — أساسًا — إلى مركب pelargonidin-3-glucoside (الذى يشكل ٨٨٪ من الأنثوسيانينات)، ومركب cyanidin-3-glucoside.

ويتباين كثيرًا محتوى الثمار من الأنثوسيانينات الكلية بين الأصناف من الأصناف الحمراء البرتقالية مثل Elsanta إلى الأصناف الحمراء الداكنة اللون أو القرمزية كما فى Camarosa.

ويمكن أن يتغير محتوى الأنثوسيانين أثناء التخزين بعد الحصاد؛ الأمر الذى يتوقف على الضوء ودرجة الحرارة. وأهم الإنزيمات ذات الصلة بتحلل الأنثوسيانين الـ polyphenol oxidase، و الـ peroxidase (Olias وآخرون ٢٠٠١).

نجد فى ثمرة الفراولة الواحدة أن تركيز الأنثوسيانينات الكلية يزداد فى أنسجة البشرة عما فى أنسجة القشرة أو النخاع، وذلك فى جميع الأصناف، ونجد عند مقارنة الأصناف أن الاختلافات بينها تكون أكبر فى اللحم الداخلى مقارنة بما فى أنسجة البشرة. كما وُجد أن الـ pelargonidin 3-glucoside هى الصبغة السائدة بالثمار، فيما عدا فى الأكينات achenes (الثمار الفقيرة)، التى يزداد فيها كثيرًا تركيز مشتقات السياندين cyanidin derivatives ، والـ malonylated anthocyanins، مقارنة بما فى باقى أنسجة الثمرة.

وقد وُجدت كميات جوهرية من الـ cyaniding 3-malonglucoside والـ pelargonidin 3-malonglucoside فى آكينات كل الأصناف (Yoshida & Tamura ٢٠٠٥).

هذا.. وقد اكتشف ما لا يقل عن ثمانى أنثوسيانينات أساسها الـ pelargonidin، واثنان أساسهما الـ cyanidin فى عصير الثمار. ويُعد الـ cyaniding 3-glucoside ثانى أكثر الأنثوسيانينات تواجدًا بالثمار بعد الـ pelargonidin-3-glucoside. ويتباين محتوى الأنثوسيانينات الكلى بمقدار ١٦ ضعف، كما يوجد بعض التباين فى نوعيات الأنثوسيانينات (Hancock ١٩٩٩).

وعندما قيمت سبعة أصناف من الفراولة لمحتوى ثمارها من مضادات الأكسدة، وُجدَ ما يلى:

١- وُجدت الأنثوسيانينات cyanidin-3-O-glucoside، و pelargonidin-3-O-glucoside، و pelargonidin-O-rutinoside فى كل الأصناف.

٢- تراوح محتوى الأنثوسيانين الكلى من ١٥,٧ مجم/١٠٠ جم فى الصنف Camino Rey إلى ٢٧,٦ مجم/١٠٠ جم فى Camarosa.

٣- كانت ثمار الصنف Monte Rey الأعلى فى المحتوى الفينولى الكلى (٢,٤٨ مجم/جم).

٤- ترجع قدرة تضادية الأكسدة فى ثمار الفراولة — أساسًا — إلى محتواها من الأنثوسيانين، بينما كان الارتباط ضعيفًا بين تضادية الأكسدة والمحتوى الفينولى (Chaves وآخرون ٢٠١٧).

المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة والعوامل المؤثرة فيها

ماهيتها

من بين أهم المركبات القابلة للتطاير المسئولة عن النكهة المميزة فى ثمار الفراولة كلاً من: 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone (المعروف باسم furaneol)، والـ

methoxyfuraneol (المعروف باسم mesifuran)، وكلاهما يزداد تركيزه بشدة أثناء نضج الثمار، ويبلغا أقصى تركيز لهما فى مرحلة الثمار الناضجة (Lavid وآخرون ٢٠٠٢).

لقد أمكن التعرف على مئات الإسترات المتطايرة أثناء نضج ثمار الفراولة وهى التى تكوُّن رائحتها المميزة، وكان أكثرها تواجدًا إسترات المثيل وإسترات الإثيل لحامضى الـ butanoic والـ hexanoic. وعُرفت مركبات أخرى بتركيزات عالية، تضمنت: trans-2-hexenyl acetate، و trans-2-hexenal، و trans-2-hexenol، و 2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)furanone الذى يُعرف باسم furaneol. ويتباين تركيز تلك المركبات كثيرًا بين الأصناف.

وتتباين الرائحة العطرية كذلك بين أنواع الجنس *Fragaria* — ويتميز النوعين *F. vesca*، و *F. virginiana* برائحة قوية عن الأصناف المزروعة.

ويعتقد كثير من الباحثين أن للـ furaneol، والـ mesifurance أهمية كبيرة فى تحديد رائحة الثمار (Hancock ١٩٩٩).

ويذكر أن أهم المركبات المتطايرة المسئولة عن نكهة ثمار الفراولة، تشمل ما يلى:

- furanones، مثل:

  2,5-dimethyl-4-hydroxy-3(2H)-furanone
  4-methoxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone

- esters، مثل:

  ethyl butanone
  ethyl hexanoate
  methyl butanoate
  methyl hexanoate

- مركبات كبريتية، مثل:

  Methane thiol
  terpenoids

ومن التربينويدات الـ linalool والـ nerolidol (Yan وآخرون ٢٠١٨).

ونعرض فى جدول (٤–١) لأهم المركبات القابلة للتطاير المسئولة عن النكهات المختلفة لثمار الفراولة ومجموعاتها الكيميائية التى تنتمى إليها (عن Hancock ١٩٩٩).

جدول (٤–١) وأهم المركبات القابلة للتطاير المسئولة عن النكهات المختلفة لثمار الفراولة ومجموعاتها الكيميائية التى تنتمى إليها.

المركبات المتطايرة	المجموعة الكيميائية	النكهة المميزة
Ethyl butanoate	Low mol. wt esters	Fruity
Ethyl hexanoate		
Hexyl acetate		
Isoamyl acetate		
2-Heptanone	Ketones	
γ-Decanolactone	Lactones	
Linalool	Terpenols	Floral/citrus
α-Terpineol		
Furaneol	Furanones	Burnt sugar
3-Hydroxybutanone	ketones	
Ethyl cinnamate	Various	Spicy
Diacetyl	Low mol. wt diones	Buttery
benzaldehyde	Benzene derivative	Nutty
t-2-Hexenal	Unsat. aldehydes	Herbaceous
t-2-Hexen-1-ol	Unsat. alcohols	
t-2-Hexyenyl acetate	Unsat. esters	
Furfural	Furaldehydes	Baked/cooked
γ-Caprolactone	Lactones	Fatty/waxy/coconut
Lauryl alcohol	Inter. wt alcohols	
Hexanal	Sat. aldehydes	Rancid
2-methylthiol acetale	Vol. fatty acids	Goaty
Methylthiol acetate	Thio esters	Sulphurous
Naphthalene	Various	Chemical

تأثير المعاملة بالمثيل جاسمونيت

يسود بروفيل التربينويدات المتطايرة لثمرة الفراولة كلاً من: الـ monoterpene، والـ linalool، والـ sesquiterpene، والـ nerolidol، وهى التى يزيد إنتاجها فى الثمار الحمراء الناضجة. وتُنتج التربينويدات نتيجة لنشاط الإنزيم nerolidol synthase، وهو الذى يزداد نشاطه — ويزداد معه إنتاج التربينويدات — بالمعاملة بالمثيل جاسمونيت، علمًا بأن التركيز المناسب للمعاملة يختلف باختلاف الصنف؛ فقد كان ١٠,٠ أو ١٠٠,٠ ميكرومول للصنف Yan Xiang، و١,٠ ميكرومول للصنف Shu Xiang (Chang وآخرون ٢٠١٣).

تأثير تبخير الثمار بالمركبات الكبريتية

حفز تبخير ثمار الفراولة بعد الحصاد بأى من المركبين الكبريتيين dimethyldisulfide، و dimethyltrisulfide من ابتعاثها لمركبات استرات الإثيل الأليفاتية aliphatic ethyl esters، وهى المركبات التى ترتبط بنكهة الثمار، والتى ازدادت بمقدار خمسة أضعاف إلى أكثر من ٩٠ ضعف بعد فترة تبخير دامت ١٨ ساعة. وقد ازداد مركب الـ ethyl acetate — الذى لا يرتبط كثيرًا بالنكهة — لأكثر من ١٠٠٠٠٠ ضعف. هذا.. ولم تتأثر صفات الجودة الأخرى مثل اللون والصلابة بمعاملة التبخير. ويُستفاد مما تقدم بيانه إمكان تحسين نكهة ثمار أصناف الفراولة غير المنتجة لمركبات النكهة الهامة بمعاملتها بتلك المبخرات (Hamilton-Kemp وآخرون ٢٠٠٢).

زيادة محتوى الثمار من العناصر المغذية بالتخصيب بها

الفوسفور

وُجد ارتباط جوهرى مُوجب بين محتوى ثمرة الفراولة من المواد الصلبة الذائبة الكلية ومحتواها من الفوسفور، وذلك فى الثمار المكتملة النضج. وُجد ذلك لدى تقييم ٢٤ صنفًا (r = ٠,٩٥)، ثم وُجد الارتباط لدى إجراء الحصاد فى تواريخ مختلفة (r = ٠,٩٦)، وبين

أجزاء مختلفة من الثمرة (قمة ووسط وقاعدة) (٠,٨٧). ولقد أدت معاملة نباتات الفراولة بحامض الفوسفوريك بتركيز ٦,٠ مللى مول إلى زيادة محتوى الفوسفور بنسبة ٤٥,٠٪ وزيادة محتوى المواد الصلبة الذائبة الكلية بنسبة ١٦,٧٪. كذلك أدت المعاملة بحامض الفوسفوريك إلى زيادة معدل البناء الضوئى بنسبة ٢٨,٨٪، وزيادة كفاءة استخدام المياه بنسبة ١٦,١٪ (Cao وآخرون ٢٠١٥).

اليود

يُعد نقص اليود بين البشر مشكلة صحية تؤثر فى حوالى ثلث سكان العالم. ولقد وجد أن تغذية نباتات الفراولة باليود (أيوديد iodide أو أيوديت iodate) أدت إلى زيادة محتوى الثمار من العنصر إلى ٦٠٠–٤٠٠٠ ميكروجرام/كجم؛ علمًا بأن الحد الأدنى اليومى الضرورى للفرد البالغ يقدر حسب منظمة الصحة العالمية بنحو ١٥٠ ميكروجرام. وقد ازداد امتصاص النباتات للعنصر بزيادة تركيز I^- أو IO_3^- فى بيئة الزراعة. ولقد أدى التركيز المنخفض من اليود ($I^- \leq$ ٠,٢٥ مجم/لتر أو $IO_3^- \leq$ ٠,٥٠ مجم/لتر) إلى تحفيز النمو النباتى، وزيادة الكتلة البيولوجية/نبات، وتحسين جودة الثمار بزيادة محتواها من فيتامين ج والسكر الذائب (Li وآخرون ٢٠١٧).

ولم تكن للمعاملة بأيودات البوتاسيوم عن طريق التربة مع الماء بعد أسبوعين من الزراعة تأثيرًا يذكر على محتوى اليود بالثمار؛ ربما بسبب سرعة تحلل المركب اليودى فى التربة بعد المعاملة. وبالمقارنة أحدث الرش الورقى المتكرر بالمركب اليودى من بداية الإزهار زيادة واضحة فى محتوى الثمار من اليود، ولكن مع حدوث انخفاض بسيط فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية. هذا.. إلاّ إن النتائج الإيجابية تلك للرش الورقى لم تتحقق عندما كُرِّرت الدراسة فى سنتين تاليتين (Budke وآخرون ٢٠٢٠).

العوامل المؤثرة فى مختلف صفات الجودة الأكلية والطبية

تباين الأصناف

تتباين أصناف الفراولة كثيرًا فى مختلف صفات الجودة؛ فمثلاً.. كان الصنف كاماروزا Camarosa الأعلى فى مضادات الأكسدة وفى محتوى البولى فينول، بينما كان

الصنف Sabrina الأقل فى محتوى حامض الأسكوربك، والأعلى فى الـ pH، وفى دليل المحتوى الكلى للمواد الصلبة/الحموضة المعايرة، والصلابة، والحلاوة، وكانت ثمار الصنف Fortuna الأقل حلاوة والأقل فى دلائل النكهة (Zeliou وآخرون ٢٠١٨).

نضج الثمار

يزداد محتوى المواد الصلبة الذائبة الكلية باستمرار أثناء نمو ونضج ثمار الفراولة من ٥٪ فى الثمار الخضراء الصغيرة إلى ٦٪-٩٪ فى الثمار الحمراء. وتتباين الثمار الخضراء والحمراء قليلاً جدًّا فى الـ pH، لكن الحموضة المعايرة تنخفض تدريجيًّا أثناء النضج. وتتأثر كلتا الصفتين — الحموضة المعايرة والـ pH- بكل من الصنف والظروف البيئية.

ويُعد الجلوكوز والفراكتوز والسكروز السكريات الذائبة الرئيسية فى ثمار الفراولة خلال جميع مراحل نضجها، ويكون تركيز السكروز — عادة — أقل من تركيز الجلوكوز والفراكتوز.

ويبقى pH ثمرة الفراولة ثابتًا عند حوالى ٣,٥ أثناء نضج الثمار، بينما تنخفض الحموضة المعايرة — التى يكون مردها إلى الأحماض العضوية السائدة أثناء نضج الثمار.

ويبين جدول (٤-٢) محتوى الثمار الناضجة من مختلف المركبات المسئولة عن إكسابها طعمها المميز (عن Hancock ١٩٩٩).

جدول (٤-٢): محتوى ثمار الفراولة الناضجة من مختلف المركبات المسئولة عن إكسابها طعمها المميز.

المركبات	مدى التركيز (جم/١٠٠ جم وزن طازج)
Sugars	
Fructose	1.0-3.5
Glucose	1.4-3.4
Sucrose	0.2-2.5
Amino acids	
Aspartic	Trace – 0.03
Glutamic	Trace – 0.04
Carboxylic acids	
Citic	0.29-1.24
Malic	0.09-0.68

درجة الحرارة وتركيز ثانى أكسيد الكربون

قُورن تأثير الجو البارد (١٢/١٦ °م نهارًا/ليلاً)، والجو الدافئ (١٦/٢٢ °م نهارًا/ليلاً)، والجو الدافئ مع تربة مدفأة حتى ٢٦°م أثناء النهار على مواصفات جودة ثمار الفراولة. وقد وجد أن أى ارتفاع فى درجة حرارة الهواء أو التربة أحدث خفضًا فى متوسط حجم الثمرة، لكن دون أن تتأثر جوهريًّا صفات جودة الثمار، مثل: المادة الجافة، ومحتوى الثمار من المواد الصلبة، والحموضة المعايرة. وفى المقابل أدى نمو الفراولة فى الجو البارد إلى زيادة مضادات الأكسدة بها، متمثلة فى محتواها من الفينولات الكلية وحامض الأسكوربيك، بينما حدث انخفاض فى محتواها من مختلف الأنثوسيانينات. ولم يؤد رفع حرارة التربة فى معاملة الجو الدافئ إلى أى زيادة إضافية فى الأنثوسيانينات او أى فينولات أخرى بالثمار، إلا إنه أحدث انخفاضًا فى تركيز الـ pro-anthocyanidins (Josuttis وآخرون ٢٠١١).

وأحدثت الحرارة العالية (٣٠°م) والتركيز العالى لثانى أكسيد الكربون (٦٥٠–٩٥٠ ميكرومول/مول).. أحدثت زيادات جوهرية فى البولى فينولات الكلية، والفلافونويدات، والأنثوسيانين، ومضادات الأكسدة فى ثمار الفراولة. هذا.. إلا إن الأصناف المختبرة تباينت فى مدى تأثر كل تلك المكونات بكلٍ من درجة الحرارة (٢٥ أو ٣٠°م)، وتركيز ثانى أكسيد الكربون (٦٥٠ أو ٩٥٠ ميكرومول/مول) (Balasooriya وآخرون ٢٠١٩).

هذا.. ويمتد موسم حصاد الفراولة الطازجة فى فلوريدا — كما هو الحال فى مصر — من ديسمبر إلى أواخر مارس، ويبلغ الحصاد أقصى معدلاته خلال الشهر الأخير من منتصف فبراير إلى منتصف مارس. ومع تقدم موسم الحصاد تصبح الثمار أصغر حجمًا، وأقل محتوى من المواد الصلبة الذائبة. وقد تبين أن الانخفاض فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية فى نهاية الموسم يكون مرده — أساسًا — إلى الارتفاع الذى يحدث فى درجة الحرارة خلال تلك الفترة (Mackenzie وآخرون ٢٠١١).

لون الغطاء البلاستيكى للتربة

دُرس تأثير الضوء المنعكس من الغطاء البلاستيكى الأحمر للتربة فى حقول إنتاج الفراولة، ووُجد أن الثمار التى أكملت نضجها فى وجود هذا البلاستيك كانت أكبر حجمًا بنسبة حوالى ٢٠٪، وأعلى فى نسبة السكريات إلى الأحماض العضوية، وانبعثت منها تركيزات أعلى من المركبات الأروماتية المحببة. ويبدو أن الأشعة تحت الحمراء ونسبة الأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة الحمراء فى الضوء المنعكس من الغطاء البلاستيكى الأحمر للتربة تؤثر — من خلال نظام الفيتوكروم الطبيعى فى النباتات النامية — فى تحوير التعبير الجينى بما يكفى لإحداث زيادة فى حجم الثمار وتحسين تركيزات المركبات المسئولة عن الطعم والنكهة (Kasperbauer وآخرون ٢٠٠١، و Loughrin & Kasperbauer ٢٠٠٢).

ولقد دُرس تأثير ألوان مختلفة من أغطية التربة البلاستيكية (أحمر وأصفر وأخضر وأزرق وأبيض للمقارنة) على خصائص صفات جودة الثمار فى زراعة بيت محمىّ، وكانت النتائج، كما يلى:

١- لم تظهر فروق جوهرية فى متوسط وزن الثمرة بين المعاملات.

٢- ازداد محتوى السكر الكلى بنحو ١٠,٤٪، وانخفض محتوى الأحماض العضوية الكلى بنحو ١٦,٦٪ فى وجود الملش البلاستيكى الأزرق مقارنة الأبيض.

٣- كانت ثمار معاملة الملش البلاستيكى الأزرق أعلى جوهريًّا فى محتواها من السكر الكلى، وأقل جوهريًّا فى محتوى الأحماض العضوية عن ثمار معاملتى الملش البلاستيكى الأصفر والأخضر، والأعلى فى نسبة السكر الكلى/الأحماض الكلية، حيث كانت ١١,٤٦.

٤- كان أعلى محتوى من المركبات النشطة بيولوجيًّا (الأنثوسيانين، والفلافونويدات، والفينولات) فى وجود الملش البلاستيكى الأحمر؛ حيث كان محتوى الثمار أعلى بنسبة ٢٣,١٪، و٢٥,٤٪، و٧٤,١٪ من المركبات الثلاثة — على التوالى — عما فى ثمار معاملة البلاستيك الأبيض.

٥- كانت القدرة على تضادية الأكسدة أعلى فى ثمار معاملة الملش البلاستيكى الأحمر.

٦- كانت ثمار معاملتى الملش الأحمر والأصفر الأعلى فى نشاط الإنزيمين: sucrose phosphate synthase، و sucrose synthase عما فى ثمار معاملات الملش الأخضر والأزرق والأبيض، وذلك فى الثمار المكتملة التكوين.

٧- كان نشاط الإنزيم acid invertase عاليًا فى ثمار معاملة الملش البلاستيكى الأخضر، وتدهور نشاط الإنزيم أثناء نموها (Miao وآخرون ٢٠١٧).

الشدِّ الرطوبى

أحدث الشد الرطوبى المعتدل (‎-70 kPa) للفراولة زيادة جوهرية فى محتوى الثمار من السكريات (من ١,١ إلى ١,٣ مثل)، والأحماض العضوية (من ١,١ إلى ١,٣ مثل)، والنسبة بينهما (من ١,١ إلى ١,٢ مثل)، وكذلك محتوى أهم الفينولات التى أمكن التعرف عليها (Weber وآخرون ٢٠١٧).

شدِّ الملوحة

كانت الثمار المنتجة فى ظروف الشدِّ الملحى الأعلى فى محتوى المواد الصلبة الذائبة؛ ومن ثم كانت الأحسن طعمًا. كذلك حسَّنت الملوحة من القيمة الغذائية والطبية للثمار بزيادتها لمحتوى الثمار من المركبات المضادة للأكسدة. وفى شد نقص النيتروجين فى ظروف غير ملحية كانت الثمار المنتجة أعلى صلابة. وبالنسبة للاختلافات فى المركبات ذات الأهمية للصحة، لم تظهر أى اختلافات جراء تأثير الملوحة باستثناء تركيز البولى فينولات الكلية والنشاط المضاد للأكسدة اللذان ازدادا فى القطفة الأولى فقط فى ظروف شد الملوحة (Cardenosa وآخرون ٢٠١٥).

المعاملات الكيميائية

أدى رش نباتات الفراولة بالميثيل جاسمونيت بتركيز ٠,١ مللى مول إلى زيادة

محتوى الثمار الحمراء الناضجة من مركب pelargonidin-3-glucose بمقدار الضعفين — تقريبًا — فى الصنف 279/5 (Giné-Bordonaba & Terry ٢٠١٦).

وأدت المعاملة الورقية للفراولة بمركب lanthanum nitrate (وهو: $La(NO_3)_3$) إلى حث إنتاج حامض الأبسيسك بالثمار؛ مما أثر إيجابيًّا على محتوى الثمار من فيتامين ج من خلال زيادة نشاط إنزيمات: glutathione reductase، و dehydroascorbate reductase، و monodehydroascorbate reductase، و L-galactone-1,4-lactone dehydrogenase، وخفض نشاط الإنزيمات: APX، و ascorbic acid oxidase (Shan وآخرون ٢٠١٨).

الإنتاج العضوى

أعطى الإنتاج التقليدى للفراولة محصولاً أعلى من الإنتاج العضوى نتيجة لزيادته لعدد الثمار/نبات. بالمقارنة.. أدى الإنتاج العضوى إلى زيادة متوسط وزن الثمرة وازداد فيها محتوى المادة الجافة والجلوكوز والسكروز وفيتامين ج والبيتاكاروتين، كما انخفض محتواها من النترات (Conti وآخرون ٢٠١٤).

المعاملة بالإثيلين

ثمار الفراولة ليست كلايمكتيرية؛ فهى لا تُنتج سوى القليل من الإثيلين؛ وكنتيجة لذلك فإن معاملتها بالإثيلين ليس لها تأثير على تطور صلابتها وطراوتها وطعمها من مرحلة الثمار غير المكتملة التكوين حتى اكتمال نضجها. كذلك فإن بداية النضج — كما يُقاس بتراكم الانثوسيانين — لا يحدث فيه أى بطء جراء المعاملة بمثبط تمثيل الإثيلين (الـ aminoethoxyvinylglycine)، أو بالمركبات التى تؤثر على فعل الإثيلين (الفضة، والـ norbornadiene).

ويترافق مع طراوة ثمار الفراولة إطلاق البروتينات والهيماسيليلوزات.. ويلعب الـ expansins — كذلك — وهو بروتين يرتبط بزيادة الخلايا فى الحجم — دورًا فى صلابة الثمار. ولا تحتوى ثمار الفراولة إلا على القليل من إنزيم الـ endo-polyglacturonase

الذى يُعد أهم إنزيم مُؤثر فى نضج ثمار الطماطم. وبدلاً منه فإن أهم الإنزيمات ذات الصلة بفقد ثمار الفراولة لصلابتها هما: pectinmethylesterase، و cellulose (Hancock ١٩٩٩).

التخزين فى الجو المتحكم فى مكوناته

عندما خُزِّنت الفراولة لمدة ٢٠ يومًا على ٥ْم فى جو متحكم فى مكوناته بنسب مختلفة من الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، وُجد ما يلى:

١- فى ٧٠ kPa أكسجين + ٢٠ kPa ثانى أكسيد كربون تمت مكافحة الفساد الميكروبيولوجى وتأثر محتوى المواد الصلبة والـ pH قليلاً، ولم يحدث أى تغير فى محتوى الثمار من فيتامين ج والـ proanthocyanidin.

٢- فى ٩٠ kPa أكسجين + ١٠ kPa ثانى أكسيد كربون تمت مكافحة الفساد البيولوجى لمدة ١٢ يومًا، وتأثر محتوى المواد الصلبة والـ pH قليلاً، بينما انخفض محتوى فيتامين ج والـ proanthocyanidin بنسبة وصلت إلى ١٥٪ بنهاية فترة التخزين.

٣- فى المعاملة الثانية ازدادت — كذلك — الأنثوسيانينات زيادة كبيرة خلال الـ ٣-٥ أيام الأولى من التخزين. وكان أعلى تراكم للأنثوسيانين فى مركبات pelargonidin-3-O-glucoside، و pelargonidin-3-O-rutinoside، و pelargonidin-3-O-acetylglucoside، وهى التى ازدادت بنسبة ٦٨٪، و١٣٢٪، و١٦٧٪ – على التوالى– عن نسبتهم الابتدائية، وذلك بعد ٥ أيام من التخزين. وبعد ذلك.. انخفض محتوى الأنثوسيانينات تدريجيًّا، أو ظلت أعلى من قيمتها الابتدائية حتى ١٢ يومًا من التخزين. هذا.. إلا إن تلك التغيرات لم تحدث فى المعاملة الأولى التى تحتوى على ٢٠٪ ثانى أكسيد كربون، الذى ربما كان ضارًّا بثبات الأنثوسيانين.

٤- وفى كلتا المعاملتين.. ازداد محتوى الثمار من الفلافونات، والأحماض الفينولية والـ ellagitannins حتى ١٣٠٪ بعد ٥-١٢ يومًا من التخزين (Van de Velde وآخرون ٢٠١٩).

الفصل الخامس

الخرشـــوف

الأهمية الغذائية والطبية للنورات والأوراق

يتميز الخرشوف بارتفاع محتواه من البوتاسيوم وبانخفاض نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم به؛ الأمر الذى يُفيد فى منع زيادة ضغط الدم وتجنب أمراض القلب والأوعية الدموية (Pandino وآخرون ٢٠١١).

كما يُعد الخرشوف مصدرًا غنيًّا بالمركبات النشطة بيولوجيًّا، مثل البولى فينولات، والإنيولين inulin، والأنثوسيانينات، والألياف، والمعادن الضرورية، وهى المركبات إلى يُنسب إليها الخصائص العلاجية؛ حيث يُعد الخرشوف محفِّزًا لإفرازات الصفراء choleretic، ومثبطًا لتمثيل الكوليسترول، ومضادًا لتصلب الشرايين anti-atheroschlerotic، ومضادًّا للبكتيريا، ومضادًّا للعوز المناعى البشرى (anti-HIV)، وطاردًا لإفرازات الصفراء، ومنشطًا للكبد hepatoprotective، ومدرًا للبول urinative، ومضادًّا للأكسدة، ومضادًّا للسرطان anti-carcinogenic (عن Sekara وآخرين ٢٠١٥).

وتحتوى أوراق الخرشوف على مركبات صيدلانية كثيرة، حيث يوجد فى مستخلصاتها مستوى عالٍ من المركبات المفيدة صحيًّا وعلى أعلى محتوى من مضادات الأكسدة من بين جميع الخضراوات. ولقد أظهر تلقيح النباتات بستة فطريات ميكوريزا (AMF) تنتمى إلى أجناس وأنواع وعزلات مختلفة.. أظهر أن استعمارها للجذور كان أعلى جوهريًا على الصنف Romanesco عما كان على الصنف Tema. ومقارنة بالكنترول.. أعطت الميكوريزا *Claroideoglomus claroideum* 22 W 3 أعلى زيادة جوهرية فى الفينولات الكلية وحامض الكلوروجنك chlorogenic acid، بينما أعطت كلاً من تلك الميكوريزا والميكوريزا *Funneliformis mosseae* IMA1 أعلى زيادة

جوهرية فى محتوى مضادات الأكسدة بالأوراق. وقد وُجد ارتباط قوى بين محتوى الفينولات الكلية ومحتوى مضادات الأكسدة بالأوراق (Avio وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير المعاملات الزراعية على القيمة الغذائية والطبية

أعطى الخرشوف أعلى محصول له عندما كان الرى بمعدل ١٠٠٪ من النتح التبخرى ET، مقارنة بالرى بمعدل ٧٥٪ أو ٥٠٪ منه؛ حيث انخفض المحصول بمقدار ٢٠٪ – ٣٥٪ عندما كان الرى بمعدل ٥٠٪ من الـ ET، وأُرجع هذا النقص إلى انخفاض فى كل من أعداد الرؤوس المنتجة وأحجامها. وبالمقارنة.. ازدادت الفينولات الكلية وحامض الكلوروجنك فى رؤوس الخرشوف مع تقدم موسم الحصاد، وبلغت الزيادة أقصاها عندما كان الرى بمعدل ٥٠٪ من النتح التبخرى ET (Shinohara وآخرون ٢٠١١).

وكان حامض الكلوروجنك هو أكثر الأحماض الفينولية تواجدًا فى الأوراق (٤٨١ مجم/كجم وزن جاف) وثانى أكثر الأحماض الفينولية تواجدًا فى الرؤوس النورية (٢١٣ مجم/كجم وزن جاف)، وذلك فى ظروف عدم الشدِّ الرطوبى. أما فى ظروف الشدِّ الرطوبى فقد ازداد تركيز كلاً من حامض الكلوروجنك، وحامض الكافيك، و 1-3,dicaffeoylqunic acid، و 1-5-dicaffeoylqunic acid، بينما انخفض تركيز الـ epigenin والـ lueteolin، وذلك فى كلٍ من الأوراق والرؤوس النورية. كذلك لوحظت زيادة فى كلٍ من البرولين وفوق أكسيد الأيدروجين والـ malondialdhyde، ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة تحت ظروف الشدِّ الملحى. ولقد كان الكاتاليز أكثر الإنزيمات المضادة للأكسدة نشاطًا. كذلك أدى الشدِّ الرطوبى إلى زيادة محتوى الكاروتينويدات وانخفاض فى محتوى الكلوروفيل فى الرؤوس النورية (Nouraei وآخرون ٢٠١٨).

وأظهرت دراسة أجريت على رى الخرشوف بما مقداره ٤٠٪، و٦٠٪، و٨٠٪ من السعة الحقلية أن المساحة الورقية، والمادة الجافة، وتركيز الكلوروفيل حدث لها انخفاض مع زيادة الشدِّ الرطوبى، بينما ازداد تركيز البرولين بزيادة الشدِّ. وكان أعلى

محصول من كلٍّ من حامض الكافيك، وحامض الكلوروجنك، والمحتوى الفينولى الكلى (٥,١٤، و ٨,٢٤، و٥,٠١ جم/م[٢]، على التوالى) فى معاملة الرى التى كانت بمعدل ٨٠٪ من السعة الحقلية، كما كانت أعلى القيم لتلك المكونات (٥,٩، و٩,٣٨، و ٥,٦٠ جم/م[٢]، على التوالى) عندما كانت كثافة الزراعة ٦ نباتات/م[٢]، مقارنة بكثافات ٢، و٤، و٨ نباتات/م[٢] (Siadat-Jamian وآخرون ٢٠١٩).

هذا.. وقد قدم Lombardo وآخرون (٢٠١٨) عرضًا لتأثير العوامل السابقة للحصاد على صفات الجودة فى الخرشوف.

الفصل السادس

الخضر الدرنية والجذرية:
البطاطس – البطاطا – القلقاس – الكاسافا
الجزر – البنجر – الفجل – الطرطوفة

البطاطس

محتوى الدرنات من الكاروتينويدات والعناصر

دُرس محتوى درنات البطاطس من الكاروتينويدات carotenoids الكلية والمفردة فى ثلاثة أصناف تختلف فى لون لبها، ووُجد أن متوسط محتوى الكاروتينويدات الكلية تراوح بين ٥,٥٧، و٢٠,٢٠ مجم/كجم وزن طازج، وتأثر بكلٍ من موقع الإنتاج وسنة الدراسة والصنف وتفاعلاتها. وتراوح متوسط محتوى الليوتين lutein من ٢,٩٢ إلى ٦,٦٦ مجم/كجم وزن طازج، ومتوسط محتوى الزيازانثين zeaxanthin من ١,٤٤ إلى ٣,٠٥ مجم/كجم. وكان محتوى الكاروتينويدات الأكثر ثباتًا فى TG-97-403، والأقل ثباتًا فى الصنف Jelly (Tatarowska وآخرون ٢٠١٩).

ويتوقف تركيز مختلف المركبات والعناصر (الفوسفور والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والحديد والزنك والنحاس والبورون والمنجنيز) على كلٍ من نسيج الدرنة والصنف. ولقد وجد أن قشر البطاطس يحتوى على تركيزات أعلى من كل من البروتين والألياف والرماد والعناصر (ما عدا المغنيسيوم) عما فى اللُب. هذا.. بينما احتوى اللب على أعلى محتوى من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية. ولقد كان البوتاسيوم هو الأعلى تركيزًا فى كل من قشر الدرنات ولبها، وتلاه – فى ترتيب تنازلى – الفوسفور والمغنيسيوم والكالسيوم والحديد والزنك والبورون والمنجنيز والنحاس. ولدى مقارنة الأصناف المستخدمة فى الدراسة (وهى ذات جلد أحمر أو قرمزى)، كانت قشور الصنف Violetta الأعلى محتوى فى كل من الرماد والبوتاسيوم والمغنيسيوم، وكانت

قشور الصنف Highland Burgundy Red الأعلى محتوى فى البروتين والألياف والكالسيوم والمنجنيز، وكان لُب الصنف الثانى الأعلى محتوى فى المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية (Vaitkeviciené ٢٠١٩).

ولقد وُجد أن جلد (ناتج تقشير) درنات البطاطس غنى بمضادات الأكسدة. وللاستخدام الطبى لتلك المركبات — وهى فينولات — يفضل استخلاصها فى ٩٦٪ إيثانول (Samotyja ٢٠١٩).

وقد أدت المعاملة بالميكوريزا — قبل زراعة البذور الحقيقية، ثم عند ظهور البادرات — بجراثيم الميكوريزا إلى زيادة محتوى الدرنات المنتجة من نواتج الأيض ومن العناصر (Lone وآخرون ٢٠٢٠).

زيادة محتوى الدرنات من السيلينيم بالتخصيب بالعنصر

أدى تخصيب enriching نباتات البطاطس النامية فى أصص بتركيزات منخفضة من السيلينيم (٠,٧٥ أو ١,٥ مجم من العنصر/كجم من التربة) فى صورة سيلينيت selenate أو سيلينايت selenite.. أدت إلى زيادة محتوى العنصر فى الدرنات، كما كان للمعاملة تأثير إيجابى على إنتاج الدرنات، وأدت إلى زيادة محتوى الكالسيوم فى النموات الخضرية، ونشَّطت إنزيمات نظام مضادات الأكسدة فيها. وبالمقارنة.. أدى التسميد بتركيزات عالية من العنصر (٣,٠ أو ٥,٠ مجم/كجم) إلى خفض إنتاج الدرنات، وخفض محتواها من السيلينيم، وخفض pH الدرنات ونشاط البيروكسيديز فيها (de Oliveira وآخرون ٢٠١٩).

محتوى الدرنات من النترات

وُجد فى إحدى الدراسات أن درنات البطاطس تحتوى فى المتوسط على ١٢٣,٢٦ مجم/كجم نترات، ويُعد ذلك المحتوى أقل من المستوى غير المسموح به. وتبين أن كمية النترات الكلية التى توجد فى قشر الدرنات peel تزيد بمقدار ٣٥٪ عما فى مركز الدرنة، وأن الغسيل يُزيل حوالى ٧,٨٪–١٤,٧٪ منه، بينما يؤدى السلق فى الماء المغلى

إلى خفض كمية النترات بنحو ٩,٧٪، ويؤدى التحمير إلى زيادتها بنسبة ٥٢٪ (Ebrahim وآخرون ٢٠٢٠).

البطاطا

جذور البطاطا كمصدر للكربوهيدرات وتباين الأصناف

عندما زُرعت سلالة من البطاطا عالية المحتوى الكربوهيدراتى بالعقل الساقية، كان إنتاجها من الكربوهيدرات ٤١٥٠ كجم/هكتار (١٧٤٣ كجم/فدان) فى المتوسط، بزيادة قدرها ١٠٪ إلى ١٥٪ عما أنتجه الصنف بيوريجارد Beauregard (George وآخرون ٢٠١٥).

الأهمية الغذائية لأوراق البطاطا وتأثرها بالتسميد الآزوتى

تؤكل أوراق البطاطا فى عديد من دول العالم، وهى تتميز بالقيمة الغذائية والطبية العالية. وتتوفر أصناف مخصصة لاستهلاك الأوراق، منها: Pushu 53، و Tainong 71. وعندما دُرس المحتوى الغذائى لهذين الصنفين فى ظروف وفرة النيتروجين ونقصه، وُجد ما يلى:

١- أدى نقص النيتروجين إلى انخفاض فى النمو الخضرى ومحتوى الكاروتينويدات والكلوروفيل، وفى معدل البناء الضوئى، وفى نشاط الإنزيم nitrate reductase.

٢- وفى الوقت ذاته أدى نقص النيتروجين إلى زيادة النمو الجذرى، وزيادة نشاط الإنزيم glutamine synthase.

٣- خفَّض نقص النيتروجين جوهريًا من محتوى الأحماض الأمينية الضرورية — متضمنة: الليسين والفينيلل ألانين والأيزوليوسين والتربتوفان والليوسين والفالين — وكذلك الأحماض الأمينية غير الضرورية — متضمة: حامض الجلوتامك وحامض الأسبارتك والجليسين والأرجنين والبرولين.

٤- كان الصنف ذات الأوراق الفاتحة اللون Tainong 71 حسَّاسًا لنقص النيتروجين، بينما كان الصنف ذات الأوراق الخضراء القاتمة اللون Pushu 53 أكثر تحملاً لنقص العنصر (Zhang وآخرون ٢٠١٥).

تأثر القيمة الغذائية للبطاطا بالرش الورقى بالحديد والزنك والأحماض الأمينية

أدى الرش الورقى للبطاطا بالحديد والزنك إلى زيادة محتوى الجذور من العنصرين، وكانت تلك الزيادة أكبر عندما أُضيف إلى سماد الحديد والزنك ٠,٤٪ (وزن/حجم) أحماض أمينية. وأحدثت المعاملة — كذلك — زيادة فى محصول الجذور، ومحتواها من البيتاكاروتين (Sun وآخرون ٢٠١٩).

تسلخ الدرنات ومدى قبول المستهلكين له

أظهرت دراسة تجريبية أُجريت على مدى استعداد المستهلك لشراء جذور بطاطا مصابة بدرجات مختلفة من التسلخ skinning أن ذلك الاستعداد والقيمة الشرائية المصاحبة له ينخفضان تدريجيًّا بدءًا من تسلخ بنسبة صفر٪ إلى < ١٪ إلى تسلخ بنسبة ٧,٦٪ إلى ١٠٪، وبدا أن تسلخًا بنسبة تزيد عن ٧,٦٪ لم يكن مقبولاً من المستهلك (Collart وآخرون ٢٠٢٠).

تأثر الجودة والقيمة الغذائية والطبية بمعاملات ما بعد الحصاد

تأثير المعاملة الحرارية على المحتوى الفينولى والفلافونى

أدت معاملة جذور البطاطا من صنف Jami حراريًّا مع النقع فى المذيب prethanol A إلى زيادة محتوى البولى فينولات polyphenols الكلية إلى ١٣٤,٦٧ مكافئ حامض جاليك gallic/جم من المستخلص المتبقى، والمحتوى الفلافونولى flafonoid إلى ٦٥,٤٣ مجم مكافئ catechin/جم من المستخلص المتبقى. كذلك لوحظ — بوجه عام — ازدياد محتوى البولى فينول والمحتوى الفلافونولى فى أصناف البطاطا ذات الجذور القرمزية اللون. ولقد كان حامض السلسيلك salicylic هو الحامض الفينولى الرئيسى، وتلاه حامض البروتوكاتيكوِّك protocatechuic acid، أو حامض

الكلوروجنك chlorogenic acid فى كل أصناف البطاطا المعاملة تقريبًا. وقد ازداد محتوى حامض السلسيلك، وحامض الفانلك vanillic acid، وحامض الجاليك gallic acid، وحامض الكافيك caffeic بعد المعاملة الحرارية، بينما انخفض محتوى حامض البروتوكاتيكوِّك وحامض الكلوروجنك (Kim وآخرون ٢٠١٩).

تأثير التخزين على حجم حبيبات النشا

لحجم حبيبات النشا فى جذور البطاطا أهمية كبيرة لجودتها الأكلية سواء أُجهِّزت مباشرة، أم بعد تصنيعها. وبتتبع حجم حبيبات النشا فى جذور أربع سلالات وأصناف من البطاطا قبل وبعد تخزينها لمدة ٦٠ يومًا على ١٣ °م، وُجد أن الجذور الأعلى محتوى من المادة الجافة كانت أعلى فى محتوى النشا، وفى الكربوهيدرات الذائبة، وفى طول حبة النشا بعد التخزين. ولقد تباين حجم حبيبات النشا بين صغيرة إلى كبيرة فى مدى مستمر. هذا.. وقد تحللت حبيبات النشا الصغيرة أسرع من الكبيرة أثناء التخزين (Niu وآخرون ٢٠١٩).

القلقاس

تأثير الزراعة العضوية على القيمة الغذائية

على الرغم من انخفاض محصول القلقاس العضوى بنسبة ٥٪، إلا أن جودته كانت أفضل عما فى الزراعة التقليدية؛ حيث ازداد محتوى الكوريمات من المادة الجافة والنشا والسكريات والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم.

هذا.. وقد أحدثت الزراعة العضوية للقلقاس — مقارنة بالزراعة التقليدية — نقصًا جوهريًّا فى كثافة التربة الظاهرية soil bulk density، وتحسّنًا جوهريًّا فى قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة (+١٩٪)، وفى مساميتها (+٣٪)، مع زيادة فى الـ pH (+١,٢ وحدة) والفوسفور الميسر، وارتفاع فى محتوى التربة من المادة العضوية (+٣٩٪)، وكلا من الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد والمنجنيز والزنك والنحاس المتبادل (Suja وآخرون ٢٠١٧).

الكاسافا

الأهمية البيولوجية للمحصول

يُستخدم الكاسافا على تطاق واسع فى إنتاج النشا، والإيثانول البيولوجى، ومنتجات أخرى بيولوجية، مثل العلائق، ومستحضرات التجميل، والبوليمرات. ويترتب على إنتاج تلك المركبات مخلفات ومتبقيات غنية فى المادة العضوية والمواد الصلبة العالقة؛ مما يجعل لها أهمية كبيرة فى التحول إلى مركبات ذات قيمة إضافية من خلال المصافى البيولوجية. ويمكن الإطلاع على التطبيقات الصناعية للكاسافا فى Li وآخرين (٢٠١٧).

محتوى جذور الكاسافا من السيانوجينات

فى دراسة على محتوى جذور أصناف الكاسافا — المزروعة فى مناطق من نيجيريا — من السيانوجينات، وُجد أنها تراوحت بين ٦٥، و١٥٣ مجم مكافئات/ HCN لكل كيلوجرام وزن جاف، بينما تراوح متوسط الـ gari cyamogens بين ٤، و١٣ مجم مكافئ HCN لكل كيلوجرام وزن جاف (Oluwole ٢٠٠٨).

الجـــزر

الكاروتينويدات وتبايناتها وتمثيلها

الكاروتينويدات عبارة عن مركبات isoterpenoids يتم تمثيلها فى النباتات لتخدم كواقيات من الضوء photoprotectants لأجل البناء الضوئى، وتوفر للأنسجة النباتية الصبغات الحمراء والبرتقالية والصفراء: ولهذه المركبات أهميتها لصحة الإنسان؛ لأنها تُعد بادئات لفيتامين أ، كما أن لها خصائص مضادات الأكسدة.

ولقد لوحظت زيادة التعبير للجينين: phytoene synthese 1 (اختصارًا: PSY1)، و phytoenc synthase 2 (اختصارًا: PSY 2) فى الجزر البرتقالى والأحمر (وهى أصلاً طفرات ظهرت طبيعيًّا فى الجزر البرى)، مقارنة بالجزر الأصفر والأبيض. ولم يُلاحظ

تعبيرًا لهذين الجينين فى أنسجة الأوراق بتلك الطرز؛ بما يدل على وجود آلية مختلفة لتراكم الكاروتينويدات فى أنسجة أوراق الجزر (Bowman وآخرون ٢٠١٤).

وقد دُرس محتوى الكاروتينويدات فى جذور الجزر من خمسة ألوان (برتقالى وأصفر وأحمر وقرمزى وأبيض)، وتبين أن الجزر البرتقالى كان الأعلى محتوى من الكاروتينويدات الكلية. وباستثناء الجزر الأبيض، كانت جميع الألوان مصدرًا هامًّا للكاروتينويدات الميسرة بيولوجيًّا. وكان الجزر البرتقالى والأبيض الأكثر قبولاً فى اختبارات التذوق سواء أُجريت دون معرفة باللون (blind)، أو مع معرفة اللون (nonblind)، لكن جميع الألوان كانت مقبولة فى اختبارات التذوق (Surles وآخرون ٢٠٠٤

تباينات صفات الجودة والقيمة الغذائية والطبية والعوامل المؤثرة فيها

وُجدت تباينات بين أصناف الجزر وصلت إلى ٧–١١ ضعف فى محتوى الجذور من التربينات terpenes، والبيتاكاروتين، والمغنيسيوم، والحديد، والفينولات، وكذلك بما قدره ١–٤ أضعاف فى مركب falcarindiol المسئول عن الطعم المر. أما عوامل المناخ فإنها قد تُحدث اختلافات حتى ٢٠ ضعف فى التربينات، و ٨٢٪ فى السكريات الكلية، و٣٠٪ – ٤٠٪ فى البيتاكاروتين والطعم الحلو والطعم المر. وقد أحدثت الزراعة العضوية — مقارنة بالزراعة التقليدية — زيادة ٧٠٪ فى المغنيسيوم، و ١٠٪ فى الحديد. وقد يؤدى خفض مستوى التسميد الآزوتى إلى زيادة ١٠٠٪ فى محتوى التربينات، مع زيادات قليلة فى المادة الجافة (+٤٪ إلى +٦٪) والمغنيسيوم (+٨٪)، ومع انخفاض فى البيتاكاروتين (–٨٪ إلى –١٣٪). ويؤدى التخزين فى معارض البيع إلى أكبر خفض فى البيتاكاروتين (–٧٠٪) وحامض الأسكوربك (–٧٠٪). ويؤدى طبخ الجذور فى ماء مغلى إلى خفض فى قوة القضم shear force (–٣٠٠٪ إلى – ١٠٠٠٪)، والهشاشة crispness (–٧٦٪)، ومحتوى الفينولات (–١٥٠٪) والتربينات (–٨٥٪)، والكاروتينات الكلية (–٢٠٪) (Seljasen وآخرون ٢٠١٣).

وتُعرف مركبات فيتامين E باسم tocochromanols، وبينما تذكر وزارة الزراعة الأمريكية فى الـ National Nutrition Database أن مستوى فيتامين E فى الجزر

يُقدر بنحو ٦,٦ ميكروجرام/جم وزن طازج، فإن دراسة أُجريت بهدف تحديد هذا المحتوى أوضحت أنه يتراوح بين ٠,٠٠٧، و٠,١٢ ميكروجرام/جم على أساس الوزن الطازج (Luby وآخرون ٢٠١٥).

تأثير مدى توفر الرطوبة الأرضية

تُعد الكاروتينويدات carotenoids والتوكوفيرولات tocopherols مكونات هامة بالجزر البرتقالى اللون. ولقد وُجدت ارتباطات سلبية جوهرية بين توفر الرطوبة الأرضية ومحتوى الكاروتينويدات الكلية والتوكوفيرولات الكلية؛ حيث أدى الرى فى المواسم الجافة إلى خفض تركيزها جوهريًّا، وإن لم يؤثر على تكوينها composiotion. كذلك وُجد ارتباط جوهرى موجب بين محتوى الكاروتينويدات الكلية والتوكوفيرولات الكلية (Ombódi وآخرون ٢٠١٤).

تأثير المعاملة بالميكوريزا

وُجد أن معاملة زراعات الجزر بالميكوريزا (*Glomus* spp.) يؤدى إلى زيادة محتوى الجذور من كل من النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكربوهيدرات (Lone وآخرون ٢٠١٨).

تأثير التعريض للنبضات الكهربائية بعد الحصاد

يمكن أن يؤدى تعريض الأنسجة النباتية لنبضات حقل كهربائى إلى حث تراكم مركبات نشطة بيولوجيًّا؛ ومن ثم تصبح أعلى فى قيمتها الطبية. ولقد وُجد أن تعريض الجزر بعد الحصاد لنبضات كهربائية بقوة ٥٨٠ جول/كجم أدت إلى تحفيز إنتاج مركبات قابلة للتطاير، وإلى تغير فى معدل التنفس بالزيادة، وحث تمثيل المركبات الفينولية (حامض الكلوروجنك، وحامض الفريولك ferulic، وحامض p-OH-benzoic)، وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى نشاط الإنزيم المفتاحى فى تمثيل الفينولات (López-Gámez وآخرون ٢٠٢٠).

بنجر المائدة

محتوى الجذور من المركبات المفيدة غذائيًّا

تُعد جذور البنجر غنية بالبوتاسيوم وحامض الفوليك وفيتامين ج وحامض الفوليك أما اوراق البنجر فهى تُعد مصدرًا جيدًا جدًّا لفيتامين أ والبوتاسيوم، كما أنها تحتوى على فيتامين ج، وكالسيوم، وحامض فوليك (Prince Edward Island ٢٠٠٥).

الفجـــل

تأثر القيمة الغذائية والطبية بالمعاملات الإنتاجية

تأثير المعاملة بمنظمات النمو

ازداد محتوى الجلوكوسينولات glucosinolates فى جذور الفجل استجابة للمعاملة بالمثيل جاسمونيت methyl jasmonate، كما أدت تلك المعاملة إلى زيادة التعبير الجينى لتمثيل الجلوكوسينولات. أما المعاملة بحامض السلسيلك salicylic acid فكان تأثيرها على محتوى الجلوكوسينولات أقل وضوحًا، بينما ثبَّطت المعاملة بحامض الأبسيسك abscisic acid تمثيل الجلوكوسينولات. كذلك ازداد محتوى الـ sulforaphane بأى من المعاملات الثلاث، وكان ذلك متفقًا مع تأثيرها على نشاط إنزيم الميروزينيز myrosinase (Chen وآخرون ٢٠١٩).

التخصيب بالسيلينيم

لم يؤثر التخصيب enriching بالسيلينيم ورقيًّا أو أرضيًّا فى صورة سيلينات الصوديوم أو سيلينيت الصوديوم على الكتلة البيولوجية لنبات الفجل، إلاّ إن التسميد الأرضى بسيلينات الصوديوم أدى إلى تراكم السيلينيم فى النبات، بما فى ذلك الجذور، وإلى زيادة معدل البناء الضوئى وأدت جميع معاملات السيلينيم إلى زيادة توصيل الثغور، ومعدل النتح. وبينما تباين تأثير معاملات السيلينيم على نسيج الخشب بأوعية الأوراق، فإن عدد خلايا الخشب فى القطاع العرضى للجذور كان أعلى فى غياب المعاملة بالسيلينيم (da Silva وآخرون ٢٠٢٠).

الطرطوفة

الأهمية الطبية

غالبًا ما تستخدم الطرطوفة فى المخللات، وهى قد تطهى مثل البطاطس.

يُعد الإنيولين inulin هو الكربوهيدرات الرئيسى فى درنات الطرطوفة بعد الحصاد مباشرة. يتحول الإنيولين فى القناة الهضمية للإنسان إلى فراكتوز وليس إلى جلوكوز؛ الأمر الذى يُفيد مرضى السكر (Schultheis ١٩٩٩).

الفصل السابع

الخضر البصلية : البصل – الثوم

البصل

التباينات فى صفات الجودة والقيمة الغذائية والعوامل المؤثرة فيها

السكريات

يُعد الفروكتان fructan (وهو سكر عديد الفراكتوز fructose-based oligosaccharide) احتياطى الكربوهيدرات الرئيسى الذى يُخزَّن بأبصال البصل. وتتوفر اختلافات بين الأصناف فى محتواها من الفروكتان عند الحصاد؛ فمثلاً.. تحتوى أبصال الصنف Kita-momiji على مستوى أعلى من الفروكتان بالأبصال عما فى أبصال الصنف Pole Star، الذى يتراكم به فقط سكريات أحادية وسكروز. هذا.. إلاّ إن ذلك التباين لا يبدأ فى الظهور إلاّ قبل الحصاد بنحو أسبوعين أو ثلاثة، بينما يتساوى الصنفان فى محتوى أبصالهما من الفروكتان قبل ذلك، وربما يرجع ذلك إلى زيادة نشاط الإنزيمات المحللة للفروكتان فى الصنف Pole Star فى المراحل المتأخرة من النمو (Oku وآخرون ٢٠١٩).

تأثير الزراعة العضوية

وجد أن محتوى أبصال البصل من الفينولات الكلية والفلافونويدات الكلية، ومن النشاط المضاد للأكسدة يزداد جوهريًّا فى الزراعة العضوية عما فى الزراعة التقليدية (Ren وآخرون ٢٠١٧).

تأثير الإصابة بفيرس تقزم البصل الأصفر

وُجد أن إصابة البصل بفيرس تقزم البصل الأصفر onion yellow dwarf virus فى الحقل تؤدى أثناء التخزين إلى انخفاض فى محتوى الأبصال من الكورستين quercetin وفى النشاط المضاد للأكسدة، مع تراكم لبعض الأحماض الأمينية (الأرجينين

والفينيل آلانين والفالين)، واستنفاذ لبعضها الآخر (الليوسين) (Taglienti وآخرون ٢٠٢٠).

الثـوم

تأثير زيادة التسميد بالكبريت

ازداد محتوى الثوم من البروتين الكلى ومن تركيز الأليسين allicin والثيوسلفينات thiosulfinates الأخرى والنشاط المضاد للأكسدة والفينولات الكلية وحامض البيروفك بزيادة جرعات الكبريت المسمد به من ١٥ إلى ٣٠، و٤٥ كجم للهكتار (٦,٣، و١٢,٦، و١٩ كجم/فدان). وعند جرعات ٦٠، و٧٥ كجم/هكتار ازداد امتصاص الكبريت، بينما انخفضت نسبة النيتروجين إلى الكبريت. أما محصول الثوم فقد ازداد بزيادة التسميد بالكبريت حتى ٣٠ كجم فقط للهكتار (Thangasamy وآخرون ٢٠٢١).

إنتاج ثوم غنى بعنصر الجِرمانيم

لعنصر الجِرمانيم germanium فوائد حيوية هامة لصحة الإنسان، وهو يُستخدم على نطاق واسع فى الجوانب الطبية. ويمكن أن تمتص النباتات الجِرمانيم غير العضوى ليتراكم فيها ويتحول إلى مركبات جِرمانيم عضوية فى الأنسجة النباتية، وهى التى يمكن استعمالها فى الغذاء. كذلك فإن الجِرمانيم يمكن أن يُحسِّن من الوظائف الفسيولوجية فى النباتات، مثل تحمل شد الملوحة، ونشاط البيروكسيديز فى الأوراق. ولقد وُجد أن الرش الورقى للثوم بمحاليل GeO_2 بتركيز ٦–٧٢ مجم/لتر أثر جوهريًّا على تراكم الجرمانيم وتوزيعه فى نباتات الثوم. كما وجد أن الرش الورقى بتركيز ٩–١٢ مجم/لتر خلال مرحلة الشمرخة bolting كان مناسبًا لإنتاج شماريخ ثوم وأبصال غنية بالجِرمانيم. وأدت معاملة التربة بـ ١٠٠ مجم GeO_2 مع الكائنات الدقيقة الفعالة effective mivroorganismis (اختصارًا: EM) إلى إنتاج بادرات ثوم غنية بالجِرمانيم (Li وآخرون ٢٠٢١).

الفصل الثامن

الخضر الورقية:

الخس – السبانخ – البقدونس – الكسبرة – الشبت – الفينوليا – الملوخية – الرجلة – الجرجير – الأمارنث – الخضر الورقية الأفريقية

الخـس

القيمة الغذائية والطبية وتبايناتها الصنفية

تتباين القيمة الغذائية والطبية للخس كثيرًا باختلاف طرازه وصنفه، ويتضح ذلك جليًّا فى جدول (٨–١).

وبصورة عامة.. تقل القيمة الغذائية كثيرًا فى خس الرؤوس ذات الأوراق القصيمة crisphead، بينما يزداد المحتوى الغذائى كثيرًا فى كل من خس الرومين cos or romaine، والخس الورقى cutting بطرازيه الأخضر والأحمر؛ حيث يزداد كثيرًا محتوى حامض الأسكوربك، وفيتامين أ، وفيتامين K، وحامض الفوليك، والكاروتينويدات: بيتاكاروتين والليوتين lutein والزيازانثين zeaxanthin. وتُعد الطرز الورقية – خاصةً – غنية بكل من فيتامين أ (البيتاكاروتين)، حيث يزيد فيها بمقدار ١٥ ضعف عما فى خس الرؤوس ذات الأوراق القصيمة. ويُعد خس الرومين غنى نسبيًّا فى كلٍّ من فيتامين ج، وحامض الفوليك مقارنة بما فى الطرز الأخرى.

هذا.. وتوجد تباينات وراثية جوهرية بين طرز الخس وأصنافه فى محتواها من المغذيات والمركبات الأيضية phytochemicals الهامة طبيًّا؛ فلقد وجدت تباينات كبيرة لدى تقييم ٥٢ صنفًا وسلالة من خس الرؤوس ذات الأوراق القصيمة، والخس الورقى، والخس ذات المظهر الدهنى، والخس اللاتينى Latin والخس الساقى Stalk، وكذلك سلالات من كلٍّ من *L. serriola*، و *L. saligna*، و *L. virosa* فى كل من محتوى البيتاكاروتين والليوتين. كما وُجد أن تركيز البيتاكاروتين تباين لأكثر من خمسة

جدول (٨-١): المحتوى المغذى لمختلف طُرز الخس على أساس ١٠٠ جم وزن طازج (عن Still ٢٠٠٧).

العنصر المغذى والوحدات	خس الرؤوس ذات الأوراق الدهنية المظهر	خس الرومين	خس الرؤوس ذات الأوراق القصيمة	الخس الورقى الأخضر	الخس الورقى الأحمر	الخس الساقى
Protein (g) البروتين	1.35	1.23	0.90	1.36	1.33	0.85
Sugars, السكريات الكلية total (g)	0.94	1.19	1.76	0.78	0.48	-
Lipids الدهون						
Fatty acids, total saturated (mg)	29	39	18	20	-	-
Fatty acids, total monounsaturated (mg)	8	12	6	6	-	-
Fatty acids, total polyunsaturated (mg)	117	167	74	82	-	-
Phytosterols (mg)	-	-	10	38	-	11
Minerals المعادن						
Calcium (mg) كالسيوم	35	33	18	36	33	39
Iron (mg) حديد	1.24	0.97	0.41	0.86	1.20	0.55
Magnesium مغنيسيوم	13	14	7	13	12	28
phosphorous فوسفور	33	30	20	29	28	39
potassium (mg) بوتاسيوم	238	247	141	194	187	330
Sodium (mg) صوديوم	5	8	10	28	25	11
Zinc (mg) زنك	0.20	0.23	0.15	0.18	0.20	0.27
Copper (mg) نحاس	0.016	0.048	0.025	0.029	0.028	0.040
Manganese (mg) منجنيز	0.179	0.155	0.125	0.250	0.203	0.688
selenium (mg) سيلينيم	0.6	0.4	0.1	0.6	1.5	0.9
Vatamins الفيتامينات						
Ascorbic حامض الأسكوربك acid (mg)	3.7	24.0	2.8	18	3.7	19.5
Thiamin (mg)الثيامين	0.057	0.072	0.041	0.070	0.064	0.055

يتبع

تابع جدول (٨-١)

العنصر المغذى والوحدات	خس الرؤوس ذات الأوراق الدهنية المظهر	خس الرومين	خس الرؤوس ذات الأوراق القصيمة	الخس الورقى الأخضر	الخس الورقى الأحمر	الخس الساقى
Riboflavin (mg) الريبوفلافين	0.062	0.067	0.025	0.080	0.077	0.070
Niacin (mg) النياسين	0.357	0.313	0.123	0.375	0.321	0.550
Pantothenic acid (mg) حامض البانثوسنك	0.150	0.142	0.091	0.134	0.144	0.183
Vitamin B-6 (mg) فيتامين ب	0.082	0.074	0.042	0.090	0.100	0.050
Folate, total (mcg) حامض الفوليك	73	136	29	38	36	46
Vitamin A (IU) فيتامين أ	3312	5807	502	7405	7492	3500
Vitamin E (mg) فيتامين هـ	0.18	0.13	0.18	0.29	0.15	-
Tocopherol, gamma (mg) التوكوفيرول	0.27	0.36	0.09	0.37	0.24	-
Vitamin K (phylloquinone) (mg) فيتامين ك	102.3	102.5	24.1	173.6	140.3	-
Carotenoids الكاروتينويدات						
carotene, beta (mcg) بيتاكاروتين	1987	3484	299	4443	4495	-
Lutein + zeaxanthin (mcg) ليوتين + زيازانثين	1223	2312	277	1730	1724	-

أضعاف، بينما كان التباين لأكثر من أربعة أضعاف فى خس الرؤوس ذات المظهر الدهنى، وبضعفين فى خس الرومين والخس الورقى. ووُجدت تباينات مماثلة بين أصناف كل طراز فى تركيز الليوتين، وكان الارتباط بين محتوى البيتاكاروتين والليوتين عاليًّا.

وبسبب محتواه من الكاروتينويدات يُعد الخس غنى بمضادات الأكسدة، وهى تزداد فى ظروف الإضاءة العالية لأنها تحمى النبات من الشدِّ التأكسدى المصاحب لتلك الظروف. وبسبب تأثر محتوى الكاروتينويدات بالإضاءة فإنها تزداد فى الخس الورقى وخس الرومين عما فى الطرز ذات الرؤوس المغلقة.

وتتوفر مضادات أكسدة أخرى — مثل الفلافونولات flavonols — بكميات كبيرة فى الخس. ففى خس الرؤوس ذات المظهر الدهنى، تتواجد الفلافونولات فى الأوراق الداخلية، إلاّ إن أعلى تركيز للمركبات الفينولية (مثل الكورستين quercetin، وحامض الكلوروجنك chlorogenic acid، وحامض الشيكورك chicoric acid) تتواجد فى الأوراق الخارجية. وما أن يتم تعريض الأوراق الداخلية للضوء فإن تركيز المركبات الفينولية يزداد فيها بنحو ٢٠ ضعفاً (Still ٢٠٠٧).

ومن التقديرات الأخرى لتباين طُرز الخس فى محتواها من فيتامين أ، وج والعناصر تلك التى ذكرها Ryder (٢٠٠٢) فى جدول (٨-٢).

جدول (٨-٢): التباين فى القيمة الغذائية لبعض طرز الخس (القيم بكل ١٠٠ جم من الجزء المأكول؛ عن Ryder ٢٠٠٢).

الطراز	الماء (٪)	الألياف (٪)	فيتامين أ (وحدة دولية)	فيتامين ج (مجم)	الكالسيوم (مجم)	الفوسفور (مجم)	الحديد (مجم)	الصوديوم (مجم)	البوتاسيوم (مجم)
الرؤوس ذات الأوراق القصيمة	٩٥,٥	٠,٥	٤٧٠	٧	٢٢	٢٦	١,٥	٧	١٦٦
الرؤوس ذات الأوراق الدهنية المظهر	٩٥,١	٠,٥	١٠٦٥	٨	٣٦	٢٦	١,٨	٧	٢٦٠
الرومين	٩٤,٩	٠,٧	١٩٢٥	٢٢	٤٤	٣٥	١,٣	٩	٢٧٧
الورقى	٩٤,٠	٠,٧	١٩٠٠	١٨	٦٨	٢٥	١,٤	٩	٢٦٤

وتباين محتوى خمسة أصناف من الخس الورقى فى محتواها من عدد من العناصر المغذية والمركبات، كما يلى (Koudela & Petrikova ٢٠٠٨):

العنصر أو المركب	التركيز
حامض الأسكوربيك (مجم/كجم)	٦٥–٣٠٢
البوتاسيوم (مجم/كجم)	٢٣٩٤–٦٤٧٧
الصوديوم (مجم/كجم)	٣٩–٢٢٣
الكالسيوم (مجم/كجم)	٢٠٠–٧٥٥
المغنيسيوم (مجم/كجم)	١١٠–٤١٣
الألياف (جم/كجم)	٤,٩٨–١٢,٢٢
المادة الجافة (جم/كجم)	٩٥–١٤٠
النترات (مجم/كجم)	٢٩٣–٣٨١٧

هذا.. ويُسوَّق فى اليابان طرازًا من الخس ينخفض محتواه من البوتاسيوم، وذلك لحاجة مرضى الكلى إلى عدم زيادة البوتاسيوم فى غذائهم (Xu وآخرون ٢٠٢١).

تأثير المعاملات الزراعية على الجودة والقيمة الغذائية

التسميد

وُجد عندما سُمِّد الخس فى مزرعة مائية بالجليسين بتركيز ٩ مللى مول/لتر لمدة أربعة أسابيع مقارنة بالتسميد بالنترات بنفس التركيز أن الجليسين حفز تراكم المركبات التالية:

- الـ glycosylated flavonoids: quercetin3-glucoside، و quercetin3-(6”-malonyl-gluoside)، و luteolin7-glucuronide، و luteolin7-glucoside.
- حامض الأسكوربيك.
- الأحماض الأمينية L-valine، و L-leucine، و L-glutamine، و asparagine، و L-serine، و L-ornithine، و 4-aminoutanoic acid، و L-phenylalanine.

هذا.. إلاّ أن المعاملة خفضت كلاًّ من:

- الأحماض الفينولية التالية: dihydroxybenzoic acid، و hexose isomers1 and 2، و chicoric acid، و chicoric acid isomer 1.
- الـ TCA intermediates: الأحماض fumaric، و malic، و citric، و succinic.

ويستفاد مما تقدم بيانه أن التسميد بالأحماض الأمينية يُغير من القيمة الغذائية للخس (Yang وآخرون ٢٠١٨).

وقد وجد أن نقص النيتروجين أدى إلى زيادة محتوى السكروز فى الخس؛ مما استحث زيادة سريعة فى نشاط إنزيمات تمثيل السكروز. وأدت المعاملة بالسكروز إلى تحفيز تراكم أكثر للفينولات التى تُستحث — كذلك — بفعل نقص النيتروجين؛ بزيادة نشاط الجينات المسئولة عن تمثيل الفينولات (Zhou وآخرون ٢٠٢٠).

وأدى تزويد بيئة زراعة الخس الأحمر فى مزرعة مائية بعناصر البوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم بتركيز ٩٠٠، و٢٩، و٧٧ جزء فى المليون، على التوالى (وفيها كان التوصيل الكهربائى EC قدره ١٣٠٧ ميكروسيمنز/سم).. أدى إلى زيادة إنتاج الخس المزروع للمركبات الفينولية من وحدة المساحة فى وحدة الوقت، وذلك دون أى تأثير جوهرى على الكتلة البيولوجية المنتجة (Sawatdee وآخرون ٢٠٢١).

وأمكن فى مزرعة مائية للخس زيادة محتوى النمو الخضرى من الزنك مع زيادة نموه الخضرى إلى ٢٢٤,١٩ جم/نبات بزيادة تركيز الزنك فى المحلول المغذى إلى ٤٧,٢ ميكرومول باستعمال كبريتات الزنك $ZnSO_4.7H_2O$. هذا وكان أكثر تراكم للزنك فى الجذور ثم فى الأوراق والساق (Meneghelli وآخرون ٢٠٢١).

المنشطات الحيوية والمعدنية

تُحفِّز الميكوريزا arbuscular mycorrhizal fungi تراكم مركبات الأيض الثانوية فى أوراق الخس. وعند تسميد النباتات المحقونة بالميكوريزا بالسيلينيم، فإن النباتات يزيد محتواها من البروتينات والمعادن عما فى النباتات غير المحقونة بالميكوريزا. هذا.. إلا إن محتوى السيلينيم كان أقل فى النباتات المحقونة بالميكوريزا؛ بما يفيد وجود ارتباط سالب بين السيلينيم والعدوى بالميكوريزا. وفى أصناف الخس ذات الأوراق الخضراء أدى التسميد بالسيلينيم إلى إبطال فوائد الميكوريزا على الكلوروفيل والكاروتينويدات وخفض الفينولات. وفى الخس ذات الأوراق الحمراء أدى التسميد

بسيلينات الصوديوم إلى التفاعل إيجابيًّا مع الميكوريزا فى تحسين الفلافونويدات. ولم يلاحظ تفاعل جوهرى بين الميكوريزا والسيلينيم فى التأثير على القدرة الكلية على تضادية الأكسدة فى أوراق كلا الطرازين من الخس (Goicoechea وآخرون ٢٠١٥).

وأدت المعاملة بمنشط حيوى ميكروبى يحتوى على سلالتين من الميكوريزا وعلى *Trichoderma koningii* إلى تحسين صفات الجودة أيًّا كانت حالة الرطوبة الأرضية جيدة أم بشد جفافى معتدل أو شديد. فلقد أدت المعاملة إلى زيادة محتوى النباتات من الفوسفور والمغنيسيوم والحديد والمنجنيز والزنك بنسبة ٨٠,٨٪ إلى ٩٧,٤٪، ومختلف الأحماض الفينولية، مقارنة بما حدث فى النباتات التى لم تُعامل بالمنشط الحيوى. كذلك أحدثت المعاملة بالمنشط الحيوى زيادة فى المحصول وفى محتوى الكالسيوم والنحاس وحامض الإيزوكلوروجنك، لكن فقط فى ظروف الرى الجيد والشدِّ الجفافى المعتدل. ولقد تأثرت صفات الجودة بالمنشط الحيوى بدرجة أكبر من تأثرها بتيسر الماء. فلم يؤثر خفض الرطوبة الأرضية إلى شدِّ معتدل على المحصول أو الأحماض الفينولية أو الفلافونويدات، لكنها خفضت محتوى النباتات من المغنيسيوم بنسبة ١٢,٤٪ والزنك بنسبة ٢٦,٨٪، وكذلك خفضت معدل البناء الضوئى والنتح إلى النصف. أما زيادة شدِّ الجفاف لجعله شديدًا فقد خفض المحصول ومحتوى حامض الأسكوربك والفينولات الكلية والكورستين. ولقد تم تمثيل الجلوكسيد luteolin كاستجابة منسقة لكل من الشدِّ الرطوبى والمنشط الحيوى؛ فازداد تركيزه فى النباتات التى عُوملت بالمنشط الحيوى (Saia وآخرون ٢٠١٩).

وقد دُرس تأثير المعاملة قبل الحصاد بالشيتوسان بمعدل ١٠٠ جم/لتر وبزيت شجرة الشاى tea tree essential oil بمعدل ٢,٧ مل/لتر على خصائص الخس عند الحصاد وأثناء التخزين على صفر — ٢ ْم لمدة ٢١ يومًا. وأدت المعاملة بالشيتوسان وبزيت شجرة الشاى إلى زيادة المحتوى الفينولى الكلى للخس عند الحصاد بنسبة ٣٠,٥٪، و٢١,١٪، على التوالى، وزيادة تركيز الفلافونويدات الكلية بنسبة ٤٣,٣٪، و٣٦,٤٪، على التوالى، مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول. كذلك كانت مضادات

الأكسدة أعلى عند الحصاد فى النباتات المعاملة. ولقد استمرت تلك التأثيرات المرغوب فيها أثناء التخزين البارد. وبالمقارنة.. ازداد تركيز حامض الأسكوربيك عند الحصاد فى النباتات المعاملة بالشيتوسان وبزيت شجرة الشاى، ولكن ذلك التأثير لم يستمر أثناء التخزين. ولقد خفضت المعاملة بالشيتوسان أعداد الخمائر والأعفان بنحو ١,٦ لوغاريتم أثناء التخزين، مقارنة بما حدث فى نباتات معاملة الكنترول. كذلك أنقصت معاملة الشيتوسان نشاط إنزيما البولى فينول أوكسيديز والبيروكسيديز اللذان يرتبطان بتفاعلات التلون البنى. ومع هذه التأثيرات المرغوب فيها لمعاملتى الشيتوسان وزيت شجرة الشاى فإنهما لم يؤثرا فى الصفات الأكلية للخس (Viacava وآخرون ٢٠١٨).

وأحدثت إضافة أنواع مختلفة من البيوشار خفضًا فى تركيز عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والزنك فى أوراق الخس، وخفضًا مماثلاً ولكن بدرجة أقل فى جذور الجزر. وفى المقابل.. أدت إضافة بعض أنواع البيوشار إلى زيادة محتوى أوراق الخس وجذور الجزر من بعض العناصر، وبخاصة البوتاسيوم (Olszyk وآخرون ٢٠٢٠).

التظليل

دُرس تأثير تظليل الخس بشباك تظليل تُوفر ٤٠٪ تظليل بألوان الأحمر والأصفر والرمادى الفاتح جدًّا pearl وبشباك تظليل سوداء توفر ٢٥٪ تظليل على جودة بعض أصناف الخس بعد التخزين. ولقد وُجد أن زراعة صنف الخس Ashbrook تحت الشبك الـ pearl حسَّن من محتوى حامض الأسكوربك والميريستين myricetin بعد التخزين. وأظهر الصنف الأحمر Exbury تحت الشبك الأسود قدرًا أكبر من المحافظة على محتوى حامض الأسكوربك والأنثوسيانين بعد التخزين. كذلك حسَّنت الشباك الـ pearl من محتوى البيتاكاروتين فى الصنف Aquarell بعد التخزين. وأظهرت كل الأصناف التى زُرعت تحت الشبك الـ pearl فقدًا أقل فى الوزن ومظهرًا أكثر قبولاً بعد التخزين (Ntsoane وآخرون ٢٠١٦).

كما أحدثت أقمشة التظليل الحمراء والزرقاء والسوداء التى تسبب تظليلاً بنسبة ٥٠٪.. أحدثت خفضًا فى محتوى الفلافونويدات (الليوتين والكورستين) فى صنفى

الخس Two Star الأخضر، و New Red Fire الأحمر، وخفضًا فى الجلوكوسيد سيانيدين cyanidin فى الصنف الأحمر. وقد تباين المحتوى الفينولى بين صنفى الخس؛ حيث احتوى الصنف الأخضر على قدرٍ أكبر من الجلوكوسيد كورستين وحامض الكافيك عن الصنف الأحمر، بينما احتوى الصنف الأحمر على تركيزات أعلى من حامض الكلوروجنك والليوتليون lutelion والمالونيل كورستين malonyl quercetin. ولقد أدت أقمشة التظليل إلى خفض حرارة بيئة الزراعة والإشعاع النشط فى البناء الضوئى إلى نصف شدته فى ضوء الشمس الكامل تقريبًا، مما أسهم فى خفض توصيل الثغور ومعدل نتح الأوراق، كما أدت إلى خفض محتوى المركبات الفينولية (Li وآخرون ٢٠١٧).

تأثير عوامل الشدِّ البيئى على الجودة والقيمة الغذائية

الشدِّ الرطوبى

أدى تعريض نباتات الخس لشدٍّ رطوبىٍّ إلى زيادة محتواها من مضادات الأكسدة. وعلى الرغم من أن تأثير الشدِّ كان أقوى فى بداية حياة النبات عما كان عليه التأثير عند الحصاد، فقد كان التأثير جوهريًّا حتى عند الحصاد كذلك. هذا.. ولم يترتب على تعريض النباتات لشدٍّ رطوبى مرة واحدة عند الحصاد أى تأثير سلبى على نموها؛ بما يعنى إمكان تحسين جودة الخس بتلك المعاملة — فيما يتعلق بزيادة محتواه من مضادات الأكسدة — دون أن يكون لها أى تأثيرات سلبية على النمو أو المحصول (Oh وآخرون ٢٠١٠).

كما أدى تعريض نباتات الخس لشدٍّ جفافى معتدل (Drough Stress 90%) إلى زيادة الكتلة البيولوجية دون التأثير على لون النباتات أو صلابة الرؤوس. وأدت معاملة DS 80% إلى زيادة محتوى النباتات من الكاروتينويدات، والكلوروفيل، وحامض الكافيك، و monocaffeoyl tartaric acid، و malercyl quercetin glucoside، و quercetin-3-O-glucuronide، ومع زيادة فى النشاط المضاد للأكسدة عند الحصاد. ولم تُظهر هذه

النباتات تغيرًا فى صلابتها أثناء التخزين، ولكن ازداد محتواها من الفلافونويدات وفى بعض المركبات الفينولية التى تتأثر سلبيًّا بالتخزين (Pain وآخرون ٢٠٢٠).

شدِّ الملوحة

عُرِّضت بادرات أصناف خضراء وحمراء من الخس لثانى أكسيد الكربون إما بالتركيز العادى (٤٠٠ ± ٢٠ ميكرومول/مول)، وإما بتركيز مرتفع (٧٠٠ ± ميكرومول/مول) لمدة ٣٥ يومًا، وبعد ذلك عُرِّضت لشد ملحى (٢٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم) لمدة أربعة أيام. وقد أظهرت الأصناف الحمراء قيمة غذائية أعلى عن الأصناف الخضراء؛ بسبب ارتفاع محتواها من كل من الكالسيوم والفوسفور والزنك، وكلوروفيل أ، وكلوروفيل ب، والكاروتينويدات، وحامض الأسكوربك، والفينولات الكلية، والأنثوسيانينات، ومضادات الأكسدة. ومع زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أظهرت أصناف الخس بلونيها زيادة فى امتصاص كل العناصر تقريبًا باستثناء المغنيسيوم والحديد. وتحت ظروف شد الملوحة انخفض تركيز النيتروجين والبوتاسيوم فى كل الأصناف، وكذلك انخفض تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم والفوسفور فى الأصناف الحمراء. وبدا واضحًا أن الأصناف الحمراء كانت أكثر استفادة من زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون عن الأصناف الخضراء. وتعنى تلك النتائج أن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون منفردًا أو مع شدِّ الملوحة لفترة قصيرة يسمح بتحسين جودة القيمة الغذائية (Pérez-López وآخرون ٢٠١٥).

شد سُمية العناصر

أدت زراعة الخس فى تربة ملوثة بالنحاس إلى خفض محتواه من حامض الفينولك وتركيز الفلافونويدات والنشاط الكلى المضاد للأكسدة، بينما لم تتأثر الأنثوسيانينات بالخس. وأدت إضافة البيوشار إلى تلك التربة إلى استعادة الخس لمحتواه من النشاط المضاد للأكسدة والفلافونويدات، مع زيادة فى محتواه من الفينولات وحامض الفينولك والأنثوسيانينات. هذا وقد كان حامض الكلوروجنك الفينول الرئيسى والكورستين الفلافونويد الرئيسى (Quartacci وآخرون ٢٠١٧).

تأثير الإضاءة وألوان الطيف والأشعة فوق البنفسجية على الجودة والقيمة الغذائية

شدة الإضاءة

أدى الحد من الإشعاع النشط فى البناء الضوئى (فى مدى ٤٠٠–٧٠٠ نانوميتر) إلى إنتاج أعلى وزن طازج للأوراق (٩٩٫٨٩ جم/نبات)، وأقل كتلة بيولوجية طازجة للجذور (٧٫٥ جم/نبات)؛ ومن ثم قُيدت نسبة الجذور إلى الأوراق بشدة (٠٫٠٧). وأدى الحد من الإشعاع النشط فى البناء الضوئى إلى خفض المركبات الفينولية الذائبة والمرتبطة. وأدى عدم التسميد بالنيتروجين إلى إنتاج أعلى محتوى من البولى فينولات. كذلك أدى الحد من تيسر الرطوبة الأرضية إلى تحسين تراكم حامض الكافيك وحامض شيكوريك فى الصور المرتبطة (Galini وآخرون ٢٠١٥).

وقد وُجد أن الكتلة البيولوجية للخس والمساحة الورقية تزداد باضطراد تدريجيًّا بزيادة شدة الإضاءة الـ LED حتى ٢٥٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية (من الضوء الأحمر والأزرق بنسبة ٣: ١ لمدة ١٦ ساعة)، كما كانت تلك النباتات أعلى محتوى من مضادات الأكسدة، والفينولات، والفلافونويدات، مقارنة بإضاءة ١٥٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية (Pennisi وآخرون ٢٠٢٠).

وأدى التعريض المستمر للضوء بشدة إضاءة عالية إلى مضاعفة تركيز حامض الكلوروجنك (وهو مضاد أكسدة قوى يقلل أضرار الأكسدة فى خلايا الإنسان) فى نباتات الخس، وذلك فى إضاءة ٢٠٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية، مقارنة بإضاءة ١٠٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية. كذلك أدت زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى زيادة تركيز حامض الكلوروجنك إلى أربعة أضعاف عند تركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون للغاز مقارنة بتركيز ٤٠٠ جزء فى المليون. وفى إضاءة ٢٠٠ ميكرومول/م^2 فى الثانية وتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون من ثانى أكسيد الكربون ازداد تركيز حامض الكلوروجنك إلى ١٩٩ مجم/١٠٠ جم وزن طازج من الخس. لوحظت تلك التأثيرات فى ظروف الضوء المستمر سواء أكانت من اللمبات الفلورسنتية، أم من ضوء الـ LED الأزرق، ولكن ليس ضوء الـ LED الأحمر.

وقد استمرت تلك التأثيرات لمدة يومين فقط من بدء المعاملة. وربما كان مرجع تلك التأثيرات إلى أن الشد الفسيولوجى الناتج عن البناء الضوئى الزائد فى ظروف الإضاءة المستمرة ينتج عنه زيادة فى محتوى حامض الكلوروجنك لحماية النباتات من الشوارد النشطة فى الأكسدة (Shimomura وآخرون ٢٠٢٠).

ألوان الطيف

من المعروف أن الضوء الأحمر والأزرق ذوا فاعلية فى تحفيز البناء الضوئى. ولقد وُجد أن لنسبة الضوء الأزرق إلى الضوء الأحمر من لمبات اللِد LED أهمية فى التأثير على مورفولوجى الخس ونمو ومحتوى أوراقه من المركبات الفينولية ومضادات الأكسدة. وفى غياب الضوء الأزرق (١٠٠٪ ضوء أحمر) كانت الأوراق أكثر استطالة. وأثَّرت زيادة نسبة الضوء الأزرق سلبيًّا على نمو نباتات الخس، وكانت معظم خصائص النمو (مثل الوزنين الطازج والجاف للنمو الخضرى والمساحة الورقية) أعلى فى ظل صفر ضوء أزرق لصنفين ورقيين (بأوراق حمراء وخضراء)، حيث كان الوزن الطازج للأوراق أعلى بمقدار ٤,٣، و٤,١ مرة للصنفين — على التوالى — مقارنة بوزنيهما فى إضاءة ٥٩ زرقاء (59 B) لمدة أربعة أسابيع. هذا بينما أظهر تراكم الكلوروفيل والفينولات (بما فى ذلك الفلافونويدات) ومضادات الأكسدة فى كلا الصنفين اتجاهًا عكسيًّا لِما لوحظ بالنسبة للنمو، وذلك فى ظروف ضوء أزرق عالٍ (59 B أو 47 B أو 35 B، مقارنة بـ 0B أو الكنترول) (Son& Oh ٢٠١٣).

ولقد وجد أن النمو والبناء الضوئى يزدادان بزيادة نسبة الضوء الأحمر، بينما يؤدى ذلك إلى خفض محتوى الكلوروفيل والفينولات، وحدث نفس الانخفاض فى مستوى الفينولات المفردة بما فى ذلك حامض الكلوروجنك وحامض الكافيك وحامض الشيكورك وحامض الفيرولك، والـ kaempferol. وعلى الرغم من أن تركيز المركبات النشطة بيولوجيًّا ازداد فى الضوء الأزرق فإن محتوى كل منها/نبات كان أعلى فى الضوء الأحمر، وهو الذى ساهم فى زيادة الكتلة البيولوجية (Son وآخرون ٢٠١٧).

وعندما عُرِّضت نباتات الخس النامية فى مزرعة مائية لمعاملات ضوئية مختلفة من حيث لون الإضاءة (أحمر، أو أخضر، أو أزرق، أو نسب مختلفة منها) مع تباين شدة الإضاءة الفعالة فى البناء الضوئى photosynthetic photon flux density (اختصارًا: PPFD)، كانت النتائج كما يلى:

١- فى معظم الحالات أعطت المعاملة بالضوء الأحمر والأخضر والأزرق بنسبة ٦: ٢: ٢، وشدة إضاءة PPFD ١٥٠ ميكرومول/م٢/ثانية أكبر كتلة بيولوجية (معاملة A2).

٢- أعطت المعاملة بالضوء الأحمر والأخضر والأزرق بنسبة ٢:٢: ٦ وشدة إضاءة PPFD ١٥٠ ميكرومول/م٢/ثانية أعلى مُعامِلات فسيولوجية (معاملة B2).

٣- حُصِلَ على وزن جاف أعلى فى معاملة الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بنسبة ٧: صفر: ٣ وشدة إضاءة PPFD ١٥٠ ميكرومول/م٢/ثانية (معاملة A1).

٤- لم تُلاحظ فروق جوهرية بين المعاملات فى كلوروفيل أ + ب.

٥- كانت معاملة الإضاءة A1 الأعلى فى محتوى الأوراق من السكر الذائب.

٦- ازداد محتوى الأوراق من البروتين الذائب فى المعاملات التى كان بها نسبة أعلى من الضوء الأزرق.

٧- كان أعلى محتوى لفيتامين ج فى المعاملة B3 (ضوء أحمر و أخضر وأزرق بنسبة ٣: صفر: ٧، و PPFD ١٢٠ ميكرومول/م٢/ثانية)، وكان أقل محتوى فى المعاملة A1 (Lin وآخرون ٢٠١٨).

وبدلاً من زيادة الإضاءة طوال موسم النمو، دُرس تأثير الإضاءة الإضافية بالضوء الأحمر والأزرق فى نهاية موسم النمو — قبل الحصاد بخمسة أيام — من لمبات LED — على لون الأوراق، وذلك فى أربعة أصناف من الخس، ووُجد أن المعاملة بالإضاءة الإضافية قبل الحصاد بما مقداره ١٠٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية من ١٠٠: صفر، أو صفر : ١٠٠، أو ٥٠:٥٠ ضوء أحمر: أزرق حفَّز تكوين الصبغات الحمراء فى أوراق الأصناف المختبرة:

Cherokee، و Mogenta، و Ruby Sky، و Vulcan عندما كانت النباتات قد نمت فى إضاءة ضعيفة تقل عن ١٠ مول/م^{٢} فى اليوم (Owen & Lopez ٢٠١٥).

تأثير الأشعة فوق البنفسجية

يبدو أن الأشعة فوق البنفسجية تُعد أهم عامل فى تلون الخس الأحمر باللون الأحمر (Shioshita وآخرون ٢٠٠٧).

وقد ازداد تراكم الفينولات الكلية، والفلافونويدات، والأنثوسيانينات، والأحماض الفينولية (مشتقات حامض البنزويك benzoic acid وحامض السينَّامك cinnamic acid) فى ظروف ضوء الشمس المباشر (الذى تزيد فيه الأشعة فوق البنفسجية) والحرارة المعتدلة فى الحقول المكشوفة عما فى ظروف البيت المحمىّ (أشعة فوق بنفسجية قليلة وحرارة عالية). وتبين أن مستوى الأشعة فوق البنفسجية يلعب دورًا سائدًا فى تراكم الفينولات، والأنثوسيانينات، وحامض ميثوكسى سِنَّامك methoxycinnamic acid، بينما تؤثر الحرارة أساسًا فى تراكم الأحماض الفينولية: rosmarinic، و p-anisic، و vanillic (Sytar وآخرون ٢٠١٨).

مصادر إضافية

قُدِّم استعراض للدراسات التى أُجريت حول تأثير نوع وشدة الإضاءة على نمو الخس فى المزارع اللاأرضية، وتراكم المركبات الهامة طبيًّا فيه (Ruangrak & Khummueng ٢٠٢٠).

دور التخصيب enriching فى زيادة القيمة الغذائية والجودة

اليود والسيلينيم

أمكن زيادة محتوى الخس النامى فى تقنية الغشاء المغذى من اليود، وذلك بتوفير اليود فى صورة 5-iodosalicylic acid (اختصارًا: 5I-SA) بتركيز ١,٦ أو ٨,٠

ميكرمول I فى المحلول المغذى (وهو ما يعرف بالـ fortification أو بالتخصيب enrichment). هذا مع العلم بأن تلك المعاملة لم تؤثر على وزن رأس الخس أو صفاته المورفولوجية (Smolen وآخرون ٢٠١٧).

وقد أُجريت دراسة زِيد فيها تركيز عناصر اليود والسيلينيم والزنك فى المحلول المغذى للخس إلى ١٥٠، و٢٠، و٥٠ ميكرومول — على التوالى — بهدف زيادة محتوى الأوراق من تلك العناصر — وهو ما يُعرف بالـ bifortification — علمًا بأن كل هذه العناصر تُعد ضرورية للإنسان، إلاّ إن الزنك — فقط — هو العنصر الضرورى منها للنمو النباتى. ولقد أدت تلك المعاملات إلى زيادة محتوى السيلينيم والزنك بالنباتات جوهريًّا، بينما لم يتأثر محتوى اليود. ولم يكن للمعاملة بتلك العناصر الثلاثة — مجتمعة — أى تأثير جوهرى على أكثر من ١٧ عنصرًا آخر من العناصر الضرورية وغير الضرورية للنبات والثقيلة (Sahin ٢٠٢١).

الزنــك

أمكن بتعديل تركيز الزنك فى المحلول المغذى لمزرعة مائية من الخس إلى ٥ مجم/لتر بداية من اليوم السابع قبل الحصاد زيادة محتوى الزنك فى الخس الورقى إلى ثمانية أضعاف تركيزه فى نباتات الكنترول دون حدوث أى تأثير سلبى على النمو النباتى. وعندما أضيف الجلوتاثيون glutathione المؤكسَد للمحلول المغذى مع الزنك وصلت الزيادة فى محتوى الزنك إلى ١٦ ضعف التركيز فى نباتات الكنترول (Atsushi وآخرون ٢٠٢١).

الليثيم

دُرس تأثير معاملة الخس ورقيًّا بالليثيم lithium فى صورة أيدوكسيد الليثيم (LiOH) أو كبريتات الليثيم (Li_2SO_4) بتركيزات تراوحت من ١٦ إلى ٤٠ مجم ليثيم/لتر، ووُجد أن التركيز العالى (٤٠ مجم/لتر) أثر سلبيًّا على نمو نباتات الخس، إلا أن التركيزات الأقل (١٦ إلى ٢٦ مجم ليثيم/لتر) — من أى صورة للعنصر — أحدثت

زيادة فى الوزن الجاف، وقطر الساق، والمساحة الورقية الخاصة، ومحتوى الليثيم بالنبات (da Silva وآخرون ٢٠١٩).

تباين أصناف الخس فى محتوى النترات والعوامل المؤثرة

التباين الصنفى

وُجد لدى دراسة محتوى النترات فى ٤٥ صنفًا من الخس تباينها فى تلك الصفة، كما يلى:

١- كانت أفضل أصناف خس الرؤوس ذات المظهر الدهنى: Caliente، و Harmony بمحتوى نترات قدرة ٢١,٦، و١٣,٩ جزءًا فى المليون، على التوالى.

٢- كانت أفضل الأصناف الورقية الخضراء: Salad Bowl، و Tongo بمحتوى نترات ١٠,٦، و ٤,٦ جزءًا فى المليون، على التوالى.

٣- كانت أفضل الأصناف الورقية الحمراء: Red Salad Bowl، و Red Salis، و New Red Fire بمحتوى نترات ١٥,٢، و ١٥,٤، و ٢٤,٠ جزءًا فى المليون؛ على التوالى.

٤- كان أفضل صنف رومين Green Towers بمحتوى نترات ١١,٢ جزءًا فى المليون.

٥- كانت أفضل أصناف خس الرؤوس ذات الأوراق القصيمة: Raider، و Ithaca بمحتوى نترات ١٧,٦، و ١٤,٩ جزءًا فى المليون، على التوالى.

٦- كان الصنف New Red Fire الأعلى محصولاً بمحتوى نترات ٢٤,٠ جزءًا فى المليون.

٧- كان محتوى النترات فى جميع الأصناف أقل من الحدود المسموح بها للرجال (٣,٩٪) والنساء (٤,٥٩٪) (Afton وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير التسميد

استُخدِمت مخلفات معامل التقطير كسماد عضوى آزوتى، وهو الذى ينتج عن الهضم اللاهوائى للثمار والتفل dregs، وهما اللذان يُستعملان فى إنتاج الغاز البيولوجى

biogas. ووُجد أن استخدامها لم يكن له تأثيرات سلبية على النمو وصفات الجودة، بينما انخفض محتوى النترات إلى أقل من المستوى المصرح به فى الاتحاد الأوروبى. ويفيد استخدام تلك المخلفات فى زيادة المحتوى العضوى فى التربة، وتقليل استخدام الأسمدة وحماية البيئة من أضرارها (Nicoletto وآخرون ٢٠١٤).

تأثير التظليل

أدى خفض الإضاءة بمقدار ١٠٪ مع التسميد الآزوتى بما مقداره ١٨٥,٤ كجم نيتروجين للهكتار إلى زيادة محتوى النترات إلى ١١٧٦، و١٨٢٦ مجم/كجم وزن طازج من الأوراق الداخلية والخارجية فى الخس الورقى، على التوالى. وأدى التظليل إلى خفض المحتوى الفينولى الكلى والنشاط المضاد للأكسدة. وأدى معدل التسميد الآزوتى العالى إلى خفض المحتوى الفينولى الكلى فى ظروف الإضاءة الكاملة، والنشاط المضاد للأكسدة فى ظروف التظليل (Stagnari وآخرون ٢٠١٥).

تأثير المعاملة بالآزوكسى ستروبين

أدت معاملة الخس ذات الأوراق الدهنية المظهر بالاستروبيليورين strobilurin (وهو: المبيد الفطرى آزوكسى ستروبين Ayoxystrobin)، أو بزيادة التسميد بالنيتروجين (١٠٠ كجم N/هكتار) إلى زيادة المحصول (بما مقداره ١٠٪، و٨,٥٪، على التوالى). كذلك أحدثت المعاملة بالآزوكسى ستروبين خفضًا فى محتوى النترات بالأوراق (–٤٣٪)، بينما ازدادت النترات بزيادة التسميد الآزوتى (+٥٣٪). وعندما كان التخزين لمدة ١٢ يومًا أدت المعاملة بالآزوكسى ستروبين إلى تحسين القدرة على التخزين بخفضها لتحلل الكلوروفيل (–٢٧٪)، وخفضها للشيخوخة (–١٩٪)، والتلون البنى (–٥٣٪). وخفضت معاملة الأزوكسى ستروبين الفينولات الكلية فى الأوراق الطازجة (–١٢,٥٪)؛ الأمر الذى يرتبط بخفض التلون البنى أثناء التخزين (Bonasia وآخرون ٢٠١٣).

السبانخ

الأهمية الغذائية والطبية وتبايناتها الصنفية

عندما قُيِّم ٩٨ صنفًا وسلالة من السبانخ لمحتواها من النترات والأوكسالات وفيتامين ج والكاروتينويدات الكلية، وُجد إنها تتراوح – بالملليجرام لكل جرام وزن طازج– من ٠,٢١ إلى ٣,٨٣ للنترات، ومن ٢,٣٨ إلى ٣٤,٧٢ للأوكسالات، و٠,٥١ إلى ١,٣٠ لفيتامين ج، و٠,١٨ إلى ٠,٥٨ للكاروتينويدات الكلية. ولقد وُجدت ارتباطات إيجابية متوسطة بين مستويات الأوكسالات وفيتامين ج، وبين فيتامين ج والكاروتينويدات الكلية، بينما ارتبطت النترات قليلاً سلبيًّا مع كلٍ من فيتامين ج والكاروتينويدات الكلية. كما وُجد أن محتوى النترات كان أعلى فى الأصناف والسلالات ذات الأوراق المجعدة عما كان عليه الحال فى الأصناف ذات الأوراق الملساء (Wang وآخرون ٢٠١٨).

تأثير الحرارة والإضاءة على الجودة والقيمة الغذائية والطبية

دُرس تأثير الإضاءة اليومية الكلية المعدلة normalized daily light integral – اختصارًا: NDLI– (معدلة على دليل المساحة الورقية leaf area index)، ودرجة الحرارة على بعض صفات الجودة فى السبانخ، وكانت النتائج كما يلى:

١– ازدادت الكتلة الجافة كنسبة من الكتلة الرطبة الطازجة بزيادة الـ NDLI، حيث ازدادت من ٣ إلى ٢٧ مول/م^{٢} يوميًّا.

٢– تغير محتوى النيتروجين المختزَل مع الوقت من اليوم فى الـ NDLI العالية وليس المنخفضة.

٣– تأثرت النترات والأحماض الأمينية أكثر بالحرارة عن تأثرها بالـ NDLI.

٤– ازداد النشا مع الـ NDLI حتى ٢٧ مول/م^{٢} يوميًّا فى الصباح أو بعد الظهيرة.

٥– انخفضت السكريات بالحرارة أكثر من انخفاضها بالـ NDLI، وظهر الانخفاض فى أعناق الأوراق، حتى ٢٠°م.

٦– ازداد حامض الأوكساليك بكلٍ من NDLI والحرارة.

٧- تغير محتوى النشا فى دورة يومية؛ فكان أقل ما يمكن فى الثامنة صباحًا، وبلغ أقصى قيمة له فى السادسة مساءً.

٨- كانت أعلى القيم للسكريات والسكروز والجلوكوز والفراكتوز أثناء النهار وأقل القيم ليلاً.

٩- ازداد تركيز حامض الأوكساليك فى نهاية اليوم.

١٠- لم تتأثر باقى المكونات الأيضية المقدرة بالوقت من اليوم.

١١- انخفض أيض السكريات والنترات فى الحرارة المنخفضة، وانخفض معها معدل النمو (Gent ٢٠١٦).

تأثر الجودة والأهمية الغذائية والطبية بالتسميد

النيتروجين

أدت زيادة مستوى التسميد بالنترات إلى تحفيز تمثيل الأوكسالات وارتبط ذلك بزيادة فى امتصاص الجذور للنترات، وفى نشاط الأوراق فى الإنزيمين nitrate reductase، و glutamine synthetase، وذلك فى صنفين يختلفان فى مدى تراكم الأوكسالات بأنسجتهما، إلاّ أن الصنف الأعلى فى تراكم الأوكسالات به Heizhenzhu كان أعلى جوهريًّا فى امتصاص الجذور للنترات وفى نشاط الإنزيميين المذكورين أعلاه عما فى الصنف الأقل Weilv فى تراكم الأوكسالات بأنسجته (Liu وآخرون ٢٠١٥).

الحديد

دُرس تأثير تغذية السبانخ بجرعات من الحديد تراوحت بين ٣٠، و١٥٠ ميكرومول فى مزرعة مائية، ووجد أن الجرعات المنخفضة من الحديد تسببت فى تراكم المغنيسيوم فى الجذور، ومنعت انتقاله إلى الأوراق، وفى خفض امتصاص عناصر أخرى. وبزيادة جرعة الحديد المسمد به تحسن النمو، وزاد إنتاج المادة الجافة، وقيم الـ SPAD، وامتصاص العناصر حتى وصل تركيز جرعة الحديد المضافة إلى ١٢٠

ميكرومول. هذا.. إلاّ أن أكبر جرعة حديد (١٥٠ ميكرومول) كان تأثيرها سلبى (Simsek & Celik ٢٠٢١).

تأثير الجودة والأهمية الغذائية والطبية بشدِّ الملوحة

أدى تعريض نباتات السبانخ لشدٍّ ملحى معتدل (١٠/٢٠ مللى مول كلوريد صوديوم/كلوريد كالسيوم) إلى زيادة محتوى الأوراق من الفلافونويدات والكاروتينويدات، والقدرة على الاختزال، وذلك عندما كان ذلك مصاحبًا بالتغذية بمحلول هوجلند المغذى. ويُستدل من الدراسة أن القيمة الغذائية للسبانخ يمكن أن تتحسن مع انخفاض بسيط — فقط — أو معتدل فى المحصول، وذلك بتعريض النباتات لخفض فى معدل التسميد أو لشدٍّ ملحى معتدل (Xu & Mou ٢٠١٦).

وفى دراسة أخرى وُجد أن لزيادة شدِّ الملوحة تأثيرات سلبية على القيمة الغذائية للسبانخ؛ فقد أدت زيادة تركيز كلوريد الصوديوم إلى إحداث عدم توازن فى العناصر المعدنية؛ حيث انخفض تركيز البوتاسيوم والكالسيوم والحديد؛ مما أحدث تغيرًا فى نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم ونسبة الصوديوم إلى الكالسيوم. وأدى ذلك إلى انخفاض فى ارتفاع النبات ووزنه. وحدث كذلك تغيرًا فى مستوى ٣٢ مركبًا أيضيًّا، متضمنة الفلافونويدات، والأحماض الأمينية، والمركبات الحمضية، والسكريات، والمركبات ذات الصلة بالدهون، وكان ذلك غالبًا فى صورة انخفاض فى تركيزاتها، وعلى وجه الخصوص انخفض جوهريًا مستوى السكروز وحامض الجلوتامك والسكريات السداسية والمركبات الحمضية بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم إلى ٢٠٠ مللى مول/لتر (Kim وآخرون ٢٠٢١).

تأثير ألوان شباك التظليل على جودة أوراق السبانخ البيبى وقيمتها الغذائية

دُرس تأثير شباك التظليل الحمراء والزرقاء والرمادية على جودة أوراق السبانخ البيبى — المنتجة فى مزرعة مائية — عند الحصاد، وبعد التخزين على ٤ °م لمدة ١٠ أيام، وكانت النتائج، كما يلى:

١- أعطت معاملة الشباك الحمراء أعلى محصول.

٢- كانت نسبة المادة الجافة أعلى جوهريًّا فى معاملة الشباك الزرقاء (٩,٣٪). مقارنة بالنسبة فى معاملتى الشباك الحمراء (٧,٣٪)، والرمادية (٦,٣٪).

٣- كان محتوى الفينولات بالأوراق البيبى الطازجة — مقدرة بملليجرامات مُكافئات حامض الجالك gallic acid/١٠٠ جم وزن طازج — أعلى جوهريًّا فى معاملة الشباك الحمراء (٤٨٥,٥ مجم)، مقارنة بالمحتوى فى معاملتى الشباك الزرقاء (٤٧٢,٥ مجم)، والشباك الرمادية (٣٨٧,٦ مجم)، ومعاملة الكنترول بدون شباك (٣١٦,٥ مجم).

٤- كانت قدرة تضادية الأكسدة أعلى جوهريًّا فى معاملة الشباك الحمراء.

٥- لم يؤثر لون الشباك على خصائص التذوق أو على امتلائها الرطوبى turgidity أو مظهرها عند الحصاد.

٦- حافظت السبانخ البيبى التى أُنتجت تحت الشباك الحمراء على أعلى محتوى فينولى وأعلى نشاط مضاد للأكسدة، وذلك بعد ١٠ أيام من التخزين على ٤ °م، مع المحافظة على مظهرها كما فى معاملة الكنترول (Lara وآخرون ٢٠٢١).

تباين استجابة النباتات المؤنثة والمذكرة للمعاملة بالسيلينيم وتراكم العناصر الثقيلة بها

أنتجت نباتات السبانخ المؤنثة محصولاً أعلى من الأوراق عما أنتجته النباتات المذكرة، وراكمت النباتات المذكرة كميات أكبر من السيلينيم والألومنيوم والزرنيخ والكروم والفاناديم، بينما راكمت النباتات المؤنثة تركيزات أعلى من الفوسفور والبورون واليود. وأدت المعاملة بسيلينيت الصوديوم sodium selenate إلى تحفيز الاختلافات بين الجنسين فيما يتعلق بزيادة تراكم المنجنيز والكوبالت والنيكل فى أوراق النباتات المذكرة، والكالسيوم والبوتاسيوم فى النباتات المؤنثة. وكانت الاختلافات بين الجنسين فى النباتات التى عُوملت بسيلينايت الصوديوم sodium selenite فى صورة سيادة

تراكم الصوديوم والزنك والكادميم فى النباتات المذكرة، والرصاص فى النباتات المؤنثة. أحدثت معاملة السيليناتيت selenite خفضًا فى محتوى أوراق النباتات المؤنثة من النترات وزيادتها فى النباتات المذكرة. وفى النباتات المذكرة أدت المعاملة بالـ sodium selenate إلى إنتاج أعلى وزن جاف للأوراق، وأعطت معاملة الـ sodium selenite ومعاملة المقارنة وزنًا جافًا أعلى فى النباتات المؤنثة عما فى المذكرة. وأظهرت النباتات المذكرة تركيزًا أعلى من البولى فينولات، بينما فى حالة المعاملة بالـ sodium selenate كان محتوى حامض الأسكوربك والكلوروفيل والكاروتين أعلى فى النباتات المؤنثة عما فى المذكرة (Golubkina وآخرون ٢٠١٧).

البقدونس

صفات الجودة الأكلية والطبية والعوامل المؤثرة فيها

يحتوى البقدونس على خصائص مضادة للأكسدة تحمى من حدوث الأضرار للدنا (الإنسانى) وتثبِّط انتشار وهجرة الخلايا السرطانية (Tang وآخرون ٢٠١٥).

فى دراسة عُومِلت فيها حقول البقدونس بثلاث كثافات للزراعة (متوسطة ٥,٥٦، وعالية ٧,٤١ نبات/م^2)، وثلاث معدلات للرى (كنترول، و ٨٦١، و١٧٨٨ م^3/هكتار، أى نحو ٣٦٠، و٧٥٠ م^3/فدان).. وجد ما يلى:

١- كان أعلى محصول فى كثافة الزراعة العالية ومعدل الرى العالى.

٢- كانت أهم الزيوت الأساسية، هى:

β-phellandrene	terpinolene
1,3,8-p-menthatrine	limonene
myristicin	alpha-pinene
myrcene	alpha-phellandrene

٣- أعطت معاملة الرى المنخفضة أعلى تركيزات من معظم المركبات؛ فكانت:

١٥٠ مجم/كجم من 1,3,8-p-menthatrine

٤٦,٨ مجم/كجم من myristicin

٣٣,٧ مجم/كجم من myrcene

٤- وُجد تأثير مماثل لكثافة الزراعة؛ فأعطت الكثافة المنخفضة ما يلى:

١٤٣ مجم/كجم من 1,3,8-p-menthatrine

١٣٠ مجم/كجم من β-phellandrene

٣٨,١ مجم/كجم من myristicin

٥- كانت نكهة البقدونس أعلى جوهريًّا فى كل من أقل كثافة زراعة وأقل معدل رى، وأوصى بكثافة زراعة ٥,٥٦ نبات/م^{٢} ومعدل رى ٨٦١ م^{٣}/فدان لأعلى نكهة مع المحافظة على المحصول (El-Zaeddi وآخرون ٢٠١٦).

الكسبرة

تأثير المنشطات الحيوية على الجودة والقيمة الغذائية والطبية

أدى تلقيح الكسبرة ببكتيريا المحيط الجذرى *Bacillus halotolerans* إلى زيادة محتوى أوراقها من كل من البوتاسيوم والكالسيوم والحديد، مع إحداث تحسن جوهرى فى محتواها من المركبات الفينولية، كان منها المركبات الآتية:

5-O-caffeoylquinic acid

cinnamic acid

4-methoxy-cinnamic acid hexoside

K-3-O-rutinoside

Q-3-O-rutinoside

Q-3-O-glucuronide

ولقد كانت البكتيريا نشطة فى استعمار الجذور (Jiménez-Gómez وآخرون ٢٠٢٠).

تأثر القيمة الغذائية والطبية بألوان الطيف

كانت الكتلة البيولوجية، ودليل الكلوروفيل، ومحتوى حامض الأسكوربك لنباتات الكسبرة أعلى جوهريًّا فى معاملات إضاءة أحمر: أزرق (بنسبة ٨٧: ١٣)، وأحمر: أزرق: تحت أحمر بنسبة (٨١,٥: ١٢,٥: ٦)، عما فى معاملات إضاءة بالأحمر فقط أو بالأزرق فقط أو بالأخضر فقط. ولقد كانت أعلى تضادية للأكسدة وأعلى محتوى من الفينولات الكلية فى الضوء الأزرق. أما أعلى محتوى فينولى/نبات فكان فى معاملة الإضاءة بالأحمر والأزرق وتحت الأحمر (بنسبة ٨١,٥: ١٢,٥: ٦) بسبب زيادة معدل النمو النباتى والكتلة البيولوجية المنتجة/نبات فى تلك المعاملة. هذا ولم يكن لاحتراق قمة الأوراق فى الكسبرة علاقة بمحتوى النمو الخضرى من الكالسيوم (Nguyen وآخرون ٢٠٢٠).

الشــبت

محتوى الشبت من مركبات النكهة المتطايرة

يحتوى زيت بذور الشبت على المركبات المتطايرة التالية:

d-carvone	d-limonene
d-phellandrene	- pinene
diterpene	d-dihydrocarvone
- phllandrene	- pinene
- 1,8-cineole	- myrcene
Para-cymene	- thujone

ويحتوى زيت أوراق الشبت على المركبات المتطايرة التالية:

d-phellandrene	terpinene
limonene	carvone

dillapiole	isomyristicin
myristicin	

وتتباين نوعية زيت الشبت كثيرًا تبعًا لنسبة الزيت فى البذور، ودرجة اكتمال تكوين البذور المستعملة فى إنتاج الزيت. وقد يؤثر وقت الحصاد جوهريًّا على الجودة، لأن الكارفون carvone يتم تمثيله خلال النهار من تحلل اا- phellandrene- (Purdue University ١٩٩٧).

الفينوكيا

محتوى الفينوكيا من مركبات النكهة المتطايرة

وجد أن أهم المركبات المتطايرة التى توجد فى زيت الفينوكيا هى الـ anethole (المسئولة عن نكهة العرق سوس)، والـ limonene. ومن بين المركبات الأخرى الهامة، ما يلى:

alpha-pinene	myrcene
gamma-terpinene	fenchone
methyl chavicol	fenchyl acetate

يتشابه زيت البصلة مع زيت النموات الخضرية فى محتواهما من المركبات المتطايرة، إلاّ أن زيت النموات الخضرية يزيد — دائمًا — محتواه من الـ limonene عن محتواه من الـ anethole (Purdue University ١٩٩٣).

وفى دراسة أخرى كانت أهم المركبات المتطايرة فى كل من الفينوكيا الحلوة (var. *dulce*) والمرة (var. *vulgare*) هى الـ anethole، والـ estragole، والـ fenchone،

بالإضافة إلى ١٨ من المركبات المتطايرة الأخرى، كان منها ما يلى:

Alpha-pinene	camphene
β-pinene	alpha-phellandrene
myrcene	limonene
β-phellandrene	gamma-terpinene
cis-ocimene	terpinolene
P-cymene	

(Charles وآخرون ١٩٩٣).

الملوخية

القيمة الغذائية

تحتوى الملوخية على تركيزات عالية من الحديد وحامض الفوليك، كما يزيد محتواها من المغنيسيوم عن محتوى الكرنب والسبانخ من العنصر، إلا أنها تقل عن السبانخ فى محتواها من حامض الفيتيك phytate، وإن كانت أعلى من الكرنب فى هذا الشأن (Nadlovu & Afolayan ٢٠٠٨). وغنى عن البيان أن الملوخية من أغنى الخضر فى فيتامين أ.

تأثير التخزين على القيمة الغذائية والطبية

عندما خُزِّنت الملوخية على ٤ ْم فى الظلام انخفض الكلوروفيل بنحو ٢٠٪ – ٣٠٪، ولم يتأثر محتوى الكاروتينويدات حتى نهاية فترة التخزين (وهو الذى تراوح بين ٠,٦٠ إلى ٠,٧٥ جم/كجم وزن طازج)، وانخفضت الفينولات بنسبة ٤٠٪، والأنثوسيانينات بنسبة ٥٠٪ (Giro & Ferrante ٢٠١٨).

الرجلة

العوامل المؤثرة فى القيمة الغذائية والطبية

بيئة الزراعة

تُعد الرجلة مصدرًا غنيًا للمواد الحامية بيولوجيًّا والتى تُعد أساسية للنمو الطبيعى للإنسان والمحافظة على صحته وتجنب إصابته بالأمراض. ولقد وُجد عند مقارنة الرجلة المنتجة على بيئات مختلفة أن تلك التى أُنتجت فى بيئة من البيت كانت الأعلى محتوى فى كل من الأحماض الدهنية الكلية، والـ alpha-linolenic acid، والـ linoleic acid، بينما حُصل على أعلى نسبة من الـ alpha-linolenic acid إلى الأحماض الدهنية الكلية فى النباتات التى أُنتجت فى بيئة من البرليت أو ليف جوز الهند coir (Cros وآخرون ٢٠٠٧).

التسميد

العناصر الكبرى وترتيب الحشة

تُعد الرجلة من الخضر الغنية بالأحماض الدهنية ومضادات الأكسدة، وهى المكونات التى تتأثر بالتسميد وبترتيب الحشَّات. ولقد وُجد أن التسميد بالنيتروجين بمعدل ١٠٠ كجم نيتروجين للهكتار (٤٢ كجم N للفدان) قلل من محتوى النمو الخضرى من كلٍّ من الفينولات الكلية، والفلافونويدات، والبيتاكاروتين والكلوروفيل، إلاّ إن تلك المكونات ازدادت فى الجرعات الأعلى من النيتروجين حتى ٣٠٠ كجم N للهكتار (١٢٦ كجم N للفدان)، دون تخطى المحتويات الأولية عند صفر N. كذلك انخفض تدريجيًّا محتوى حامض الأسكوربك وحامض البالمتك palmitic وحامض الاستيارك stearic والنشاط المضاد للأكسدة، بينما ازداد محتوى حامض اللينوليك linoleic acid وألفا حامض اللينولينك alpha-linolenic بزيادة معدل التسميد بالنيتروجين. وأدى التسميد بالفوسفور والبوتاسيوم إلى خفض محتوى الفينولات الكلية وحامض الأسكوربك، لكن البيتاكاروتين ازداد بالتسميد بالبوتاسيوم. ووُجد أن محتوى

الفينولات الكلية وحامضى اللينوليك وألفالينولنك كان عاليًا فى الحشة الأولى، بينما ازداد محتوى البيتاكاروتين والكلوروفيل وحامضى البالمتك والاستيارك فى الحشة الثانية (Montoya-Garcia وآخرون ٢٠١٨).

السيليكون

تتميز الرجلة بكونها غنية فى مضادات الأكسدة، والفينولات، والفلافونويدات، والدوبامين dopamine. وعندما عُومِلت النباتات بالسيليكون كسماد أرضى أو بالرش الورقى بتركيز ١، و٢ مللى مول لكلتا الطريقتين.. كان أعلى تركيز للسيليكون بالأوراق عندما كانت المعاملة بالرش الورقى بتركيز مللى مول واحد. وأدت هذه المعاملة — كذلك — إلى زيادة وزن الأوراق، ومحصول البذور، ومحتوى الأوراق من الفينول والفلافونويدات. كما أحدثت المعاملة الأرضية بالسيليكون بتركيز مللى مول واحد زيادة فى تركيز الدوبامين بمقدار ٢,٥ ضعف، مقارنة بمعاملة الكنترول. كذلك أحدثت المعاملة الأرضية بالسيليكون إلى زيادة صبغات البناء الضوئى وتركيز الفوسفور بالأوراق.

شدّ الملوحة

تعد الرجلة من الخضر المتحملة للملوحة، ويؤثر شدّ الملوحة على محتواها من مختلف الأحماض الدهنية. ولقد وُجد أن شد ملوحة قدره ٢٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم أثر على نمو أجزاء النبات الهوائية والأرضية، وعلى كفاءة البناء الضوئى، والقدرة الأسموزية، وخاصة فى الصنف البرى Liaoning China local؛ حيث أمكن تمييز ١٢ حمضًا دهنيًا، كان أهمها: alpha-linolenic acid، و linoleic acid. وأحدث شد الملوحة زيادة جوهرية فى محتوى الأوراق والسيقان من أوميجا–٣، وكانت نسبة أوميجا–٦ إلى أوميجا–٣ شديدة الانخفاض (Zaman وآخرون ٢٠١٩).

الجرجير

تأثر القيمة الغذائية والطبية بالمعاملات الزراعية وشد الملوحة

أعطى الرى بمعدل ١٠٠٪ من الـ evapotranspiration أعلى محصول بينما انخفض المحصول بنسبة ٨٪، و٦٪ عندما كان الرى بمعدل ٧٥٪، و ١٥٠٪ من النتح

التبخرى، على التوالى. كذلك أعطى التسميد بالمعدل العالى من النيتروجين (٦٠ كجم/فدان، مقارنة بـ ٢٥ كجم/فدان) أعلى محصول، وذلك بزيادته لعدد الأوراق ومساحة الورقة. هذا.. إلاّ إن معدل النيتروجين العالى ذلك أدى إلى زيادة محتوى الأوراق من النترات. وقد أدى خفض معدل الرى والتسميد بالنيتروجين إلى تحسين محتوى الفينولات والكاروتينويدات والنشاط المضاد للأكسدة بالأوراق. وأدى المعدل العالى للنيتروجين إلى تحسين كفاءة استعمال المياه، ولكن مع خفض كفاءة استعمال النيتروجين (Schiattone وآخرون ٢٠١٨).

يُعد الجرجير من الخضر التى يمكن أن تتراكم فيها النترات بتركيز عالٍ. ومع تغيير مستوى النيتروجين وكلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى كان أعلى محصول عندما كان تركيز النيتروجين ١٤ مللى مول N، بينما انخفض المحصول عند تركيز ٢٠ مللى مول N، و ٤٠ مللى مول كلوريد صوديوم. وأدت إضافة كلوريد الصوديوم إلى المحلول المغذى إلى زيادة محتوى الكلوروفيل النسبى، كما ازداد تركيز أيوناالصوديوم والكلورين بزيادة الملوحة، كذلك ازداد مستوى النترات فى الكتلة البيولوجية بزيادة كمية النترات فى المحلول المغذى. (Urlic وآخرون ٢٠١٧).

الأمارانث

القيمة الغذائية

يُعد الأمارانت أهم الخضر الورقية فى المناطق الاستوائية من كل من أفريقيا وآسيا، وتتباين الأنواع المنتشرة فى الزراعة منه، حيث يكثر النوع *Amaranth tricolor* L. فى شرق آسيا، و *A. cruentus* (L.) Sauer فى أفريقيا، و *A. dubius* Mart. ex Thell فى جزر البحر الكاريبى.

والأمارانث من الخضر الغنية بكل من فيتامينى A، و C وبعناصر الكالسيوم والحديد، إلا أن محتواه العالى من حامض الأوكساليك قد يقلل من تيسر ما به من كالسيوم.

تُستعمل أوراق النبات وهى صغيرة بطول ٥–١٠ سم.

الأزهار كثيرة جدًّا وتُحمل فى سنابل طرفية أو جانبية، وهى ليست صالحة للأكل، إلاّ أن بذورها الصغيرة تؤكل.

يُزرع الأمارانث الأفريقى *A. cruentus* — أساسًا — لأجل بذوره، بينما يُزرع النوعان الآخران — الصينى والكاريبى — لاستعمالهما كخضر تُطهى مثل السبانخ (عن Palada & Crossman ١٩٩٩).

وقد أُجرى تقييم لسلالات من أنواع مختلفة من الجنس *Amaranthus* من حيث كمية الإنتاج والجودة، وكان الحصاد بالحش بعد شهر من الزراعة ثم كل أسبوعين بعد ذلك طوال موسم النمو. كان أعلى إنتاج فى الحشة الأولى وانخفض تدريجيًّا فى الحشات التالية. ولقد كان أعلى إنتاج للنوع *A. hypochondriacus* (٤٣ طن/هكتار أو نحو ١٨ فدان)، وأقل إنتاج من النوع *A. tricolor* (١٣ طن/هكتار أو نحو ٥,٥ طن/فدان) وقد كان كلا هذين النوعين الأفضل مذاقًا، وكان *A. tricolor* الأفضل قوامًا (Allemann وآخرون ١٩٩٦).

تأثير توقيت الحصاد على الإنتاج والجودة والقيمة الغذائية

لم يؤثر توقيت حصاد أوراق الأمارانث على محصول البذور او الجودة. ولم يتسبب حصاد ٥٠٪ من الأوراق فى أى وقت فى أى خفض جوهرى فى محصول البذور، بينما تسبب حصاد ١٠٠٪ من الأوراق فى أى مرحلة من النمو فى خفض محصول البذور. وقد اختلفت القيمة الغذائية للأوراق كثيرًا خلال مراحل النمو، وكان أعلى تركيز للحديد بالأوراق فى منتصف مرحلة النمو الخضرى، وأعلى مستوى لفيتامين أ والنحاس فى نهاية مرحلة النمو الخضرى. وكانت الاستساغة الأكلية أعلى ما يمكن فى الأوراق الحديثة، وانخفضت مع تقدم النبات فى العمر. ولم يكن لوقت حصاد الأوراق أو شدته تأثيرًا على التفريع. وبذا.. فإن على المزارعين الذين يرغبون فى حصاد كلاًّ من الأوراق والبذور حصاد حتى ٥٠٪ من الأوراق فى أى مرحلة من النمو الخضرى، مع توقيت الحصاد حسب الاحتياجات من القيمة الغذائية والاستساغة الأكلية (Hoidal وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير شدِّ الملوحة على القيمة الغذائية والطبية

يُعد الأمارانث *Amaranth tricolor* مصدرًا فريدًا للبيتالين betalain (الـ β-cyanin، والـ β- xanthin)، ومصدرًا لمضادات الأكسدة الطبيعية، مثل الصبغات والفيتامينات والبولى فينولات والفلافونويدات. لهذه المركبات أهمية كبيرة للإنسان نظرًا لأنها تزيل سموم الشوارد النشطة فى الأكسدة، وتُسهم فى الدفاع ضد عديد من الأمراض.

ولقد وُجدت زيادة جوهرية لافتة للنظر فى كل من الصبغات، والـ β-cyanin، والـ β-xanthin، والـ betalain، والكاروتينويدات الكلية، والفلافونويدات، والقدرة الكلية على تضادية الأكسدة لدى تعريض النباتات لشدِّ ملحى قدره ٥٠ أو ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم. ولقد أظهرت صبغات الأوراق النشطة بيولوجيًّا، والبيتاكاروتين، وفيتامين ج، والفينولات، والفلافونويدات.. أظهرت نشاطًا جيدًا مضادًّا للأكسدة.

ونظرًا لتحمل الأمارانث الجيد لشدِّ الملوحة، مع تحسن خواصه الغذائية فى ظروف شدِّ الملوحة، فإنه يمكن أن يكون محصولاً بديلاً واعدًا للزراعة فى الأراضى الملحية (Sarker & Oba ٢٠١٨).

الخضر الورقية الأفريقية

الأهمية الغذائية والطبية

يُعرف المئات من الخضر الورقية الأفريقية التقليدية ذات الأهمية البستانية والغذائية. هذه الخضروات متأقلمة جيدًا جدًّا على ظروف الزراعة القاسية، وتنمو جيدًا بأقل قدر من العناية (دونما استعمال للأسمدة، أو مبيدات الحشائش، أو مبيدات الآفات، أو أى من المعاملات الزراعية الأخرى التى قد لا يقدر على تكاليفها المزارع البسيط)، وتكون متوفرة دائمًا حينما لا يكون هناك مصادر أخرى للغذاء. وتلك الخضروات غنية بالعناصر الصغرى، وغالبًا هى أرخص مصدر للفيتامينات والمعادن

الضرورية. وكثير من تلك الخضروات من الأغذية الوظيفية functional food الهامة فى الحمية الغذائية الأفريقية التقليدية، وتعد غنية بالمغذيات nutraceuticals مثل البولى فينولات، والتانينات التى تكسبها قدرة عالية على الأكسدة، وشوارد حرة كاسحة free radical scavenging، ونشاط إنزيمى مثبط، ولها خصائص مضادة للميكروبات، ومنها ما هو مناسب للاستخدام فى التعامل مع مدى واسع من الأمراض، والتى منها السكر وضغط الدم وأمراض الشريان التاجى. ولقد تناول Aworh (٢٠١٨) — بالتفصيل — الأهمية الغذائية والطبية لتلك الخضروات بمختلف أنواعها.

الفصل التاسع

الخضر الكرنبية:
الكرنب – القنبيط – البروكولى - الكرنب الصينى - الكيل

الكرنـــب

زيادة المحتوى الغذائى بمعاملات الرش الورقى

بالأحماض الأمينية وعلاقة ذلك بتحمل شد الجفاف

أدى رش نباتات الكرنب بمخلوط من ١٦ حمضًا أمينيًّا بتركيز ١٥٠ مجم/لتر إلى زيادة محتواها من البروتين والفينول والبرولين، كما أدت المعاملة إلى زيادة نشاط إنزيمى البيروكسيديز والكاتاليز، وخاصة تحت ظروف شد الجفاف (وهى عندما يكون الرى بعد وصول الرطوبة الأرضية إلى ٥٠٪ من الرطوبة عند السعة الحقلية). وقد أدى التعرض لشدِّ الجفاف إلى خفض معدل البناء الضوئى والوزنين الطازج والجاف للنمو الخضرى، بينما أدت معاملة الرش بالأحماض الأمينية إلى التغلب على تلك المشاكل وإلى تحسين النمو النباتى تحت تلك الظروف (Haghighi وآخرون ٢٠٢٠).

بالسيلينيم

أدى التسميد الأرضى بمعدل ٢ ميكروجرام Se/لتر أو الرش الورقى مرتين بمعدل ٢٠ مجم Se/ لتر فى صورة سيلينات الصوديوم إلى زيادة محتوى الأوراق من العنصر من أقل من ١٠٠ نانوجرام/جم وزن جاف – فى حالة الكنترول – إلى ٥٥٠٠ نانوجرام S/ جم فى حالة الرش الورقى. هذا بينما لم يكن لأى من معاملتى السيلينيم أى تأثير على البناء الضوئى أو معدل التنفس أو نشاط نظام انتقال الأليكترونات أو كمية الكلوروفيل أو الأنثوسيانينات (Mechora وآخرون ٢٠١٤).

تأثير شد الجفاف على محتوى مركبات الأيض الثانوية

أدى تعريض الكرنب الأحمر لشدِ جفافى لفترة طويلة إلى زيادة محتواه من الأنثوسيانينات والفينولات. ومع زيادة التعرض لشدِّ الجفاف تراوح محتوى الأنثوسيانينين بين ٣٠,٧٢، و٥١,٢٧ مجم سيانين – ٣ جلوكوز/١٠٠ جم، والفينولات بين ١٧٥، و٣١٥,٧ مجم GA/١٠٠ جم وزن طازج، وتضادية الأكسدة بين ٢٥٦,٠٢، و ٣٢٧,٠٠ مجم trolox/١٠٠ جم وزن طازج (Erken ٢٠٢٢).

القنبيط

التباينات الصنفية فى القيمة الغذائية والطبية ودور الحرارة المنخفضة

وُجد لدى تقييم ١٦ سلالة تربية أن محتوى الأقراص من السنجرين sinigrin يتراوح من ٣,٢٩ إلى ١٦,٣٧ ميكرمول/١٠٠ جم وزن طازج، مع وجود أعلى محتوى فى الصنف DC 41-5. وتباينت القدرة على تضادية الأكسدة من ٨,٨٧ إلى ٢٤,٢٤ GAE/١٠٠ جم (بحسب تقدير CUPRAC)، ومن ١١,٧١ إلى ٣٤,٠٠ GAE/١٠٠ جم (بحسب تقدير FRAP) (Vanlalneihi وآخرون ٢٠٢٠).

وقد دُرس تباين أقراص قنبيط تختلف فى لون أقراصها (أبيض، وأخضر، وقرمزى، وروماِنسكو romanesco (وردى)، وتأثير تعريض الشتلات وهى بعمر ٤,٥ أسبوع لحرارة ٤ أو ١٨ °م لمدة ٧ أيام قبل شتلها. ولقد وُجد أن الأقراص البيضاء للصنف الهجين Xenia احتوت على أقل كمية من عناصر النيتروجين والفوسفور والكبريت والبورون والحديد والنحاس، بينما احتوت الأقراص الرومانسكو للصنف الهجين Celio على أقل كمية من عناصر الصوديوم والرصاص والكروم، وعلى أعلى محتوى من الكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت والنحاس والمنجنيز والزنك. وأدى تعريض الشتلات للحرارة المنخفضة إلى زيادة محتوى الأقراص من كلٍ من النيتروجين والفوسفور والكالسيوم والكبريت والمغنيسيوم والصوديوم والبورون والنحاس والزنك والرصاص، وخفض محتواها من الموليبدنم والكروم فى أقراص بعض الأصناف (Kalisz وآخرون ٢٠١٨).

تأثير عوامل الشدِّ البيئى على القيمة الغذائية والطبية

الشدِّ الحرارى

أدى الجمع بين الشدِّ الحرارى والرش الورقى بالاسبرميدين spermidine إلى زيادة النشاط المضاد للأكسدة، والمحتوى الفينولى الكلى والأمينات المتعددة polyamines. ولقد تراكمت الكبريتات والفوسفات فى ظروف كلٍّ من الحرارة المعتدلة وظروف الشدِّ الحرارى، بينما تراكمت النترات عند المعاملة بالاسبرميدين بتركيز ٤ مللى مول (Collado-Gonzáalez وآخرون ٢٠٢١).

الشدِّ الملحى

أدى نمو القنبيط فى مزرعة مائية فى وجود تركيز ملحى قدره ٤ ديسى سيمنز/م إلى زيادة محتوى الزهيرات من المادة الجافة والمادة الذائبة وتحسين احتفاظها باللون أثناء تخزين المحصول المجهز للمستهلك والمخزن لمدة ١٤ يومًا على ٤ ْم، مع تأخير شيخوختها، وزيادة محتواها من الجلوكوسينولات والفينولات الكلية وحامض الأسكوربيك؛ ومن ثم النشاط المضاد للأكسدة بها (Giuffrida وآخرون ٢٠١٨).

البروكولى

تأثير الزراعة العضوية على القيمة الغذائية والطبية

وُجد أن الزراعة العضوية للبروكولى لم تؤثر جوهريًّا على مستويات الفينولات الكلية والفلافونويدات الكلية، إلاّ إن مستويات الـ indolyl glycosinolates (الـ glucobrassin، والـ neoglucobrassicin) كانت أعلى جوهريًّا فى الزراعة العضوية عما كانت عليه فى الزراعة العادية (Valverde وآخرون ٢٠١٥).

تأثير الرش الورقى بكبريتات الكالسيوم

أحدث رش نباتات وبراعم البروكولى بكبريتات الكالسيوم – مقارنة بالكنترول – التأثيرات التالية فى البراعم:

١- زيادة الكتلية البيولوجية.

٢- خفض تسرب الشوارد electrolyte leakage من البراعم.

٣- زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، والتضادية للأكسدة أثناء النمو والتخزين.

٤- خفض المحتوى الفينولى الكلى أثناء النمو، لكن مع زيادته أثناء التخزين.

٥- كبح الانخفاض فى حامض الأسكوربك أثناء التخزين.

٦- زيادة محتوى الجلوكوسينولات بصورة درامية، وخاصة مركب الـ glucoraphanin، ومنع فقدها أثناء التخزين.

٧- زيادة نشاط إنزيمات تمثيل الـ glucoraphanin.

٨- زيادة نشاط إنزيم myrosinase أثناء التخزين، ونقص نشاط الـ ESP.

٩- زيادة تكوين الـ sulforaphane أثناء النمو والتخزين (Guo وآخرون ٢٠١٨).

تأثير التغذية بالسيلينيم

فى محاولة لزيادة محتوى البروكولى من عنصر السيلينيم، وُجد أن هذا المحتوى ازداد بوضوح بالتسميد بالسيلينيم فى صورة سيليناييت صوديوم sodium selenite وفى صورة خميرة السيلينيم Se yeast، وأدت المعاملة بأيهما إلى زيادة المحتوى الفينولى الكلى والجلوكوسينولات، إلاّ أن المحتوى الفلافونويدى الكلى انخفض بالمعاملة بالـ Se yeast. وبينما تحفز النمو النباتى بالمعاملة بالـ Se yeast، فإنه ثُبِّط بالمعاملة بالسيليناييت. وكانت المعاملة بالـ S yeast هى المفضلة، لأن المعاملة بالسيليناييت أحدثت زيادة كبيرة جدًّا فى محتوى زهيرات البروكولى من السيلينيم إلى درجة لا تجعلها مناسبة مباشرة كغذاء، وإن كان من المكن تصنيعه كمكمل غذائى غنى بالعنصر (Gui وآخرون ٢٠٢٢).

أهمية طول الساق النورية فى التأثير على القيمة الغذائية

تحتوى الساق النورية للبروكولى على قدرٍ من العناصر (نيتروجين وفوسفور وبوتاسيوم ومغنيسيوم وحديد وزنك وبورون) مساوٍ تقريبًا لما تحتويه الرأس النورية، بينما يتم غالبًا التخلص من الساق عند التحضر للأكل. وبدراسة تأثير ساق نورية بطول يتراوح بين سنتيمتر واحد وتسعة سنتيمترات مع التخزين على ١٠ °م، وجد أن طول الساق أثَّر جوهريًّا على محتوى العناصر وتوزيعها بين الزهيرات والساق أثناء التخزين. وكان للساق القصيرة جدًّا (١ سم) أو الطويلة جدًّا (٩ سم) تأثيرات سلبية على جودة زهيرات البروكولى أثناء التخزين، وكان الطول المناسب للساق هو ٦ سم، وذلك بالنسبة لتوزيع العناصر وجودة الزهيرات (Guo وآخرون ٢٠١٨).

دور معاملات التخزين فى التأثير على القيمة الغذائية والطبية

الضوء الأبيض والأشعة فوق البنفسجية

بينما تؤثر حرارة التخزين (١٠ أو ١٨ °م) لمدة ثلاثة أيام على محتوى البروكولى من الفلافونات (الـ quercetin، و kaempferol، و isorhamnetin)، إلاّ إن معاملات الضوء الأبيض (١٩ ميكرومول/م^{2} فى الثانية)، والأشعة فوق البنفسجية (٠,٢٣ W/م^{2}) أحدثت زيادة جوهرية فى محتوى البروكولى من الكورستين ومستويات الفلافونول فى خلايا البشرة (Rybarczyk-Plonska وآخرون ٢٠١٦).

كما أدت معاملة نورات البروكولى بعد الحصاد — وقبل تخزينها على ٤ °م مع ٩٠٪–٩٥٪ رطوبة نسبية — لجرعة قدرها ١,٢ كيلوجول/م^{2} من الأشعة فوق البنفسجية ج UV-C إلى إبطاء اصفرار النورات بنحو أسبوع كامل، وإلى خفض الفقد فى وزنها. ووُجد أن محتوى النورات من الحامض الأمينى leucine ارتبط بمدى اصفرارها. وأحدث التعريض للأشعة فوق البنفسجية ج زيادة جوهرية فى محتوى النورات من الجلوكوسينولات الإندولية والـ hydrocinnamates (Duarte-Sierra وآخرون ٢٠١٩).

درجة الحرارة

أثرت حرارة تخزين البروكولى (١٠ أو ١٨ °م) جوهريًّا على محتواه من الجلوكوسينولات؛ حيث ازداد محتواه من 4-hydroxyglucobrassicin فى حرارة ١٨ °م، بينما ازداد محتوى الجلوكوسينولات الفردية الأخرى، ومحتوى الجلوكوسينولات الكلى، والجلوكوسينولات الأليفانية aliphatic والإندوليلية indolyl للبروكولى بعد التخزين على ١٠ °م أكثر مما كان عليه الحال عند التخزين على ١٨ °م (Rybarczyk-Plonska وآخرون ٢٠١٦).

الكرنب الصينى

دور التسميد بالترايكودرما فى التأثير على الجودة والقيمة الغذائية

أمكن عزل أربعة أنواع من الترايكودرما Trichoderma وتم تحضير سماد بيولوجى منها، وباستخدامها فى معاملة الكرنب الصينى المزهر flowering Chinese cabbage، فإنها أدت إلى تحفيز النمو (٤١,٧٪) وزيادة المحصول (٣٧,٤٪)، فضلاً عن زيادة المعاملة لكل من السكر الذائب والبروتين الذائب والكلوروفيل، مع خفضها لمحتوى النيتروجين النتراتى. كذلك أدت المعاملة بالترايكودرما إلى تحمل الشدِّ البيئى، وتقليل التعرض لأضرار الشوارد المحبة للأكسدة، فضلاً عن زيادتها للنشاط الإنزيمى بالتربة؛ مما أدى إلى زيادة محتواها من النيتروجين والفوسفور (Ji وآخرون ٢٠٢٠).

الكيـــل

دور شد الجفاف فى التأثير على القيمة الغذائية والطبية

أدى تعريض الكيل المجعد *Brassica oleracea* L. convar. *Acephala* (DC) صنف Sabellica لظروف نقص الرطوبة الأرضية فى مرحلة نموه إلى زيادة محتوى أوراقه من كل من: trans-2-hexenal، و phytol، و delta-tocopherol، وإلى

انخفاض محتوى الكلوروفيل. كما أدى التعرض للجفاف إلى زيادة مضادات الأكسدة، والتعبير عن الجين AOP2 المرتبط بتمثيل الـ aliphatic alkenyl glucosinolates، وفى ثلاثة جينات تُشفر لتمثيل إنزيمات الـ myrosinases التى تُسهم فى تحلل الجليكوسينولات glucosinolate (Podda وآخرون ٢٠١٩).

الفصل العاشر

الأسبرجس

التباينات فى القيمة الغذائية والطبية

حسب موعد الحصاد خلال الموسم

تراوحت نسبة المواد الصلبة الذائبة فى مهاميز الأسبرجس من ٣,٠٪ إلى ٨,٥٪. وقد انخفضت النسبة من بداية موسم الحصاد حتى نهايته، إلاّ إنها تقلبت بوضوح تبعًا للظروف الجوية؛ فمثلاً أدى ارتفاع درجة الحرارة مع انخفاض فى معدل هطول الأمطار لعدة أيام قبل تسجيل القياس إلى حدوث زيادة جوهرية فى نسبة المواد الصلبة الذائبة. كذلك اختلفت النسبة باختلاف حجم المهاميز، حيث كانت أقل فى المهاميز الأصغر حجمًا (Zurawicz وآخرون ٢٠٠٨).

حسب لون المهاميز

يُعتبر الأسبرجس الأبيض أقل محتوى من كلٍّ من الفينولات وفيتامين ج والبروتين عن الأسبرجس الأخضر، ولكنه أعلى محتوى من السكريات البسيطة.

كذلك يُعد الأسبرجس الأخضر أغنى فى محتواه من العناصر المعدنية عن الأسبرجس الأبيض. ولقد وُجد أن معظم العناصر المعدنية يقل تركيزها من قمة المهماز إلى قاعدته. ونظرًا لأن ذلك المحتوى يتأثر بطول المهماز؛ لذا.. فإن غياب الألياف فى قاعدة المهاميز البيضاء يوفر للمستهلكين منتجًا أفضل فيما يتعلق بمحتوى العناصر المعدنية الضرورية.

ويُعد الأسبرجس – عمومًا– من الخضر الغنية بحامض الفولك الضرورى لإنتاج كرات الدم الحمراء والدنا (OSU ٢٠٠٧)

تبعاً للجزء النباتى

تحتوى مهاميز الأسبرجس على كميات كبيرة من الريوتين rutin، وهو الذى له خصائص مضادة للالتهابات، وللأورام السرطانية، وللبكتيريا والفيروسات، كما تحتوى المهاميز على البروتودايوسين protodioscin المضاد للأورام السرطانية، والذى يتواجد فى قاعدة المهماز (الـ ٨ سم القاعدية). وقد أوضحت الدراسات تواجد كميات كبيرة من الريوتين فى النموات الخضرية (الـ cladophylls)، والجذور الخازنة، بينما كان تواجد البروتودايوسين عاليًا فى البراعم، وفى الجزء المغطى بالتربة من المهماز، وفى الريزوم. ووُجدت كميات جوهرية من الريوتين فى أجزاء النبات التى تقع فوق سطح التربة، كما وُجد — كذلك — فى الجذور الخازنة. ووجدت أكبر كمية من البروتودايوسين فى كلٍ من البراعم، والثمار الصغيرة، والبذور (Motoki وآخرون ٢٠١٩).

زيادة محتوى السيلينيم والقيمة الغذائية والطبية للمهاميز بالتسميد بالسيلينيم مع الميكوريزا

فى غياب التسميد بالسيلينيم احتوت مهاميز الأسبرجس — فى المتوسط — على ١٥٠ ميكروجرامًا من العنصر/كجم وزن جاف. وقد ازداد محتوى المهاميز من العنصر خطيًّا مع التسميد بالسيلينيم (٢٥، و٧٥، و١٢٥ جم/هكتار من السيلينيم كسيلينيت رشًا على النمو الهوائى fern)، خاصة عندما ترافق التسميد بالسيلينيم مع العدوى بالميكوريزا (AMF)، حتى بلغ المحتوى — مع أعلى معدل من التسميد بالعنصر — إلى ١٨٩٣، و٨٤٤ ميكروجرام/كجم وزن جاف مع العدوى بالميكوريزا وبدونها، على التوالى.

هذا.. وقد أدى التسميد بأعلى معدل من العنصر (١٢٥ جم/هكتار) — كذلك — إلى تحسين محتوى السكروز فى المهاميز وفى التيجان، كما ازداد محتوى الفينولات الكلية والكاروتينويدات وتضادية الأكسدة خطيًّا مع زيادة معدل التسميد بالعنصر (Conversa وآخرون ٢٠١٩).

تأثير المعاملات التخزينية على القيمة الغذائية والطبية

المعاملة بحامض الأوكساليك والتخزين

دُرس تأثير المعاملة بحامض الأوكساليك بعد الحصاد والتخزين لمدة ١٢ يومًا على ٥°م على صفات الجودة فى ثلاثة أصناف من الأسبرجس خضراء وقرمزية المهاميز. ولقد وجد أن كلاً من التخزين البارد والمعاملة بحامض الأوكساليك أثرتا إيجابيًّا على المظهر العام للمهاميز فى كل الأصناف التى دُرست. وازداد فقد الماء من النهايات المقطوعة طوال فترة التخزين فى كل الأصناف، إلا إن هذا التأثير السلبى — الذى كان واضحًا فى معاملة الكنترول — أمكن التغلب عليه بمعاملة حامض الأوكساليك. ولقد تأثرت المركبات الحيوية بالتخزين وليس بمعاملة حامض الأوكساليك، وكان أهم تلك المركبات: cyanidin glucosyl rutinoside، و cyandin rutinoside، و peonidin rutinoside فى صنف ذات مهاميز قرمزية، والمركبات: quercetin rutinoside، و feruloyl quinic acid، و cumaroyl quinic acid فى صنفين ذات مهاميز خضراء. هذا.. وقد تأثر النشاط المضاد للأكسدة سلبيًّا بالتخزين، وليس بالمعاملة بحامض الأوكساليك، وقد ترافق هذا الانخفاض بانخفاض فى مستويات حامض الأسكوربك فى جميع الأصناف (Barberis وآخرون ٢٠١٩).

التعريض لمختلف ألوان الطيف والأشعة فوق البنفسجية

يؤدى التعرض لموجات ضوئية مختلفة إلى تنشيط عمليات فسيولوجية محددة فى النباتات؛ مما يؤدى إلى حدوث تغيرات فى الصبغات (المركبات الفينولية على سبيل المثال)، والإنزيمات المرافقة لها، والتى منها — على سبيل المثال — فينيل ألانين أمونيا — لاييز phenylalanine ammonia-lyase (اختصارًا: PAL)، و guaiacol peroxidase (اختصارًا: POD). ومن أمثلة تلك التغيرات اللونية احمرار قواعد مهاميز الأسبرجس بعد الحصاد بسبب تحفيز تمثيل الأنثوسيانين وتراكمه فى خلايا البشرة. وفى دراسة أُجريت على المهاميز البيضاء للصنف Gijnlim بعد الحصاد لم تؤثر نوعية

الإضاءة (UV-C أو الضوء الأزرق أو الأحمر أو الضوء الأبيض) على معدل تنفس المهاميز، لكن الضوء الأبيض حَفَّز تمثيل الأنثوسيانين من خلال زيادته لنشاط PAL، بينما ثبط الضوء الأحمر والأشعة فوق البنفسجية ج — بشكل واضح — تمثيل الأنثوسيانين؛ الأمر الذى ترافق مع تغير فى نشاط PAL. وحَفَّز الضوء الأزرق تمثيل الأنثوسيانين فى قمة المهاميز بنفس درجة تحفيز الضوء الأبيض لها. هذا وكان تأثر نشاط الإنزيميين PAL، وPOD بدرجات متباينة تبعًا لنوعية الضوء، مع التفاوت فى التأثير بين قمة المهماز وقاعدته (Huyskens-Keil وآخرون ٢٠٢٠).

مصادر إضافية

لمزيد من التفاصيل حول العوامل الوراثية والبيئية والزراعية السابقة للحصاد المؤثرة فى صفات الجودة والقيمة الغذائية والطبية للأسبرجس.. يُراجع Siomos (٢٠١٨).

الفصل الحادى عشر

نبت البذور

تأثير بعض منشطات النمو الطبيعية على القيمة الغذائية والطبية

أوضحت دراسة أن نبت بذور الخس كان أعلى جوهريًّا فى محتواه من الفينولات الكلية والفلافونويدات والنشاط المضاد للأكسدة عما هو مسجل للرؤوس المكتملة النمو لمختلف أصناف الخس. ولقد وُجد أن رش نبت الخس يوميًّا بأى من شاى شجرة الشاى tea tree oil (بتركيز ٠,١٨ أو ٠,٢٧ أو ٠,٣٦ حجم/حجم)، أو الشيتوسان (بتركيز ٠,٢٥ أو ٠,٥ أو ١,٠ حجم/حجم) أعطى محتوى أعلى من المركبات الهامة صحيًّا (phytochemicals) والنشاط المضاد للأكسدة عن معاملة نقع البذور فى تلك المحاليل. كما أن التركيزات العالية من المحفزات أثرت سلبًا على إنبات البذور فى معاملة النقع (Viacava & Roura ٢٠١٥).

تأثير بعض معاملات النبت على قيمته الغذائية والطبية

المعاملة بكلوريد البوتاسيوم والميثيل جاسمونيت

يُعد نبت بذور الكرنب الأحمر أغنى فى الجلوكوسينولات والفينولات عن الكرنب الأبيض، ولكن ليس فى العناصر المغذية. ولقد عزز نقع البذور فى كلوريد البوتاسيوم من محتوى البوتاسيوم والفلافونات فى نبت كلا الصنفين، بينما خفَّضت المعاملة من محتوى الجلوكوسينولات فى الكرنب الأحمر، وكانت استجابة الكرنب الأبيض للمعاملة أفضل من استجابة الكرنب الأبيض؛ حيث ازدادت الفلافونويدات بنسبة ٨٩٪. ولقد كان الرش بالمثيل جاسمونيت فعَّالاً فى إحداث زيادة جوهرية فى محتوى كلٍّ من الجلوكوسينولات الإندولية: الـ glucobrassicin (٥,٧ ضعف) والـ neoglucobrassicin (٩,٧ ضعف) فى نبت بذور الكرنب الأحمر، بينما كانت تلك الزيادات نبت فى نبت بذور الكرنب الأبيض ١٩,٤ ضعف، و٩,٤ ضعف للمركبين — على التوالى — إضافة إلى زيادة قدرها ٢,٣ ضعف

فى الـ 4-hydroxyglucobrassicin. كذلك أحدثت معاملة المثيل جاسمونيت زيادة جوهرية فى كلٍّ من الأنثوسيانينات (٤١٪) وحامض الكلوروجنك (٣٢٩٪) فى نبت بذور الصنف الأبيض (Hassini وآخرون ٢٠١٧).

وبعد ١٠ أيام من استنبات بذور البروكولى كان للملوحة تأثيرات سلبية على نمو النبت، وعلى محتواه من الجلوكوسينولات والمركبات الفينولية. ولقد تحسن النمو عندما عُومِلت البذور (seed priming) بكلوريد البوتاسيوم أو بالمثيل جاسمونيت، وخاصة الأخير الذى أدى إلى زيادة النمو ومحتوى النبت من الجلوكوسينولات (Hassini وآخرون ٢٠١٧).

الملوحة والجلوكوز

أدت معاملة نبت بذور فاصوليا المنج بأى من كلوريد الصوديوم بتركيز ٥٠–١٠٠ مللى مول، أو بالجلوكوز بتركيز ١٠٠–١٥٠ مللى مول إلى تحسين خصائص النبت المفيدة للصحة؛ حيث أدت إلى زيادة المحتوى الفينولى الكلى، ونشاط الإنزيم phenylalanine ammonia-lyase، ونشاط قوة الاختزال عندما كانت المعاملة بالجلوكوز بتركيز ١٥٠ مللى مول، بينما كان أعلى محتوى من الفلافونويدات وحامض الأسكوربك والنشاط الكاسح للشوارد المحبة للأكسدة عندما كانت المعاملة بكلوريد الصوديوم بتركيز ١٠٠ مللى مول. وعلى الرغم من أن وزن النبت انخفض جوهريًّا بالمعاملة بتركيز ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم أو ١٥٠ مللى مول جلوكوز، فإن تركيزات المركبين الأقل من تلك الحدود كانت أفضل لتحسين القيمة الغذائية دون أن يكون لها تأثير سئ على المحصول (Koodkaew ٢٠١٩).

تأثير ألوان الطيف على القيمة الغذائية والطبية

أدى إنتاج نبت بذور البروكولى تحت الضوء الفلورسنتى أو التنجستين إلى إنتاج كتلة بيولوجية طازجة أقل جوهريًّا عما أُنتج تحت ضوء ٥٪ أزرق/٩٥٪ أحمر، أو ٥٪ أزرق/٨٥٪ أحمر/ ١٠٪ أخضر، أو ٢٠٪ أزرق/ ٨٠٪ أحمر من لمبات LED. وأُنتج

أعلى محتوى للنبت من الكلوروفيل، والبيتاكاروتين، والليوتين، والكاروتينويدات الكلية، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والفوسفور، والكبريت، والبورون، والنحاس، والحديد، والمنجنيز، والموليبدنم، والزنك، والـ glucoiberin، والـ glucoraphin، والـ 4-methoxyglucobrassicin، والـ neoglucobrassicin، فى معاملة إضاءة ٢٠٪ أزرق/٨٠٪ أحمر من لمبات LED. وعمومًا.. فإن معاملة الضوء الفلورسنتى أو التنجستين أعطت أقل تركيز من معظم المركبات (Kospell وآخرون ٢٠١٤).

وأدى التعريض لضوءٍ أزرق من لمبات ليد LED بشدة إضاءة قدرها ١٢٥ ميكرومول/م[٢] فى الثانية إلى زيادة محتوى نبت بذور الكرنب الصينى– وهى بعمر خمسة أيام — من حامض الأسكوربك بنسبة ٤٠٪، مقارنة بالتعريض للضوء الأبيض. كذلك انخفض محتوى النبت من العناصر النشطة فى التفاعل مع الأكسجين ROS بالتعريض للضوء الأزرق (Kang وآخرون ٢٠٢٠).

تأثير الموجات الصوتية على القيمة الغذائية والطبية

أوضحت دراسات حديثة أن الموجات الصوتية تنظم النمو، والمحتوى الكيميائى، والاستجابة لظروف الشدِّ فى النباتات. ولقد وُجد فى دراسة على نبت بذور الفجل والخس والكرنب الصينى أن معاملتها بترددات مختلفة لموجات صوتية مسموعة (٠,٢٥، و٠,٨، و١,٠، و١,٥ كيلوهرتز kHz) لمدة ساعتين يوميًّا أو فى اليوم الأول والثالث والخامس لاستنباتها.. أن موجات صوتية خاصة أدت إلى زيادة المحتوى الفلافونويدى للنبت، وتوافق ذلك مع تحفيز لتعبير جينات تمثيل الفلافونويدات المفتاحية، وكانت الزيادة فى المحتوى الفلافونويدى مرتبطة بزيادة فى قدرة تضادية الأكسدة فى النبت (Kim وآخرون ٢٠٢١).

مصادر الكتاب

حسن، أحمد عبدالمنعم. (١٩٨٨). أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر فى الزراعات المكشوفة والمحمية. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٩١٨ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم. (٢٠١٥). الأهمية الغذائية والطبية للخضروات. (٢٠١٥). دار الكتب العلمية – القاهرة – ٣٧٦ صفحة.

حسن، أحمد عبدالمنعم. (٢٠١٨) الإنتاج المتميز للطماطم. دار الكتب العلمية – القاهرة – ٢٠٣ صفحات.

حسن، أحمد عبدالمنعم . (٢٠١٩). القرعيات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها. نشر إليكترونى – الإنترنت – ٧٠٩ صفحات.

حسن، أحمد عبدالمنعم. (٢٠٢٠): البطاطس: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها – نشر إليكترونى – الإنترنت ٥١٠ صفحات.

حسن، أحمد عبدالمنعم. (٢٠٢٢): الثوميات: تكنولوجيا الإنتاج المتميز وتحدياته ووسائل التغلب عليها. نشر إليكترونى – الإنترنت. ٥٠٦ صفحات.

Ahmadi, L., X. Hao, and R. Tsao. 2018. The effect of greenhouse covering materials on phytochemical composition and antioxidant capacity of tomato cultivars. J. Sci. Food Agr. 98 (12).

Afton, W. D. et al. 2020. Evaluation of yield, marketability, and nitrate levels of lettuce cultivars produced in Southern Lousiana. HortTechnology 30(5): 632-637.

Allemann, J., E.V.D. Heever, and J. Viljoen. 1996. Evaluation of *Amaranthus* as a possible vegetable crop. App. Plant Sci. 10 (1): 1-4.

Atsushi, O. et al. 2021. Establishment of a cultivation method for leaf lettuce (*Lactuva sativa* var. *crispa*) and Komatsuna (*Brassica rapa* var. *pervidis*) with high zinc content for patients with zinc deficiency and evaluation of its effectiveness. J. Sci. Food Agr. 101 (8): 3202-3207.

Avio, L. 2020. Phenolics content and antioxidant activity in the leaves of two artichoke cultivars are differentially affected by six mycorrhizal symbionts. Sci. Hort. 264.

Aworh, O. C. 2018. From lesser-known to super vegetables: the growing profile of African traditional leafy vegetables in promoting food security and wellness. J. Sci. Food Agr. 98: 3609-3613.

Azni, M.M. et a. 2021. Elicitation of dopamine biosynthesis in common purslane as affected by methyl jasmonate and silicon. J. Plant Nutr. 44 (20): 3083-3098.

Balasooriya, H. N., K. B. Dassanayake, S. Seneweera, and S. Ajlouni. 2019. Impact of elevated carbon dioxide and temperature on strawberry polyphenols. J. Sci. Food Agr. 99 (10).

Barberis, A. et al. 2019. Postharvest application of oxalic acid to preserve overall appearance and nutritional quality of fresh-cut green and purple asparagus during cold storage: a combined electrochemical and mass-spectrometry analysis approach. Postharvest Biol. Technol. 148: 158-167.

Barickman, T. C., D. A. Kopsell, and C.E. Sams. 2017. Abscisic acid improves tomato fruit quality by increasing soluble sugar concentrations J. Plant Nutr. 40 (7): 964-973.

Barickman, T. C., D. A. Kopsell, and C. E. Sams. 2017. Effects of abscisic acid and calcium on tomato fruit aroma volatiles. J. Plant Nutr. 40 (14): 2096-2100.

Barzegar, T., M. Fateh, and F. Razavi. 2018. Enhamcement of postharvest sensory quality and antioxidant capacity of sweet pepper fruits by foliar applying calcium lactate and ascorbic acid. Sci. Hort. 241: 293-303.

Bianchi, G., L. Provenzi, and A. Rizzolo. 2020. Evolution of volatile compounds in ‘Cuoredolce®’ and ‘Rugby’ mini-watermelons (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsumura and Nakai) in relation to ripening at harvest. J. Sci. Food Agr. 100 (3).

Bonasia, A., G. Conversa, C. Lazzizera, and A. Elia. 2013. Pre-harvest nitrogen and Azoxystrobin application enhances postharvest shelf-life in butterhead lettuce. Postharvest Biol. Technol. 65: 67-76.

Bosland, P.W. 1996. Capsicums: innovative uses of an ancient crop, pp. 479-487. In: J. Hanick (ed.). Progress in new crops. ASHS Press, Arlington, VA.

Bosland, P. W. and E. J. Votava. 2000. Peppers: vegetable and spice capsicums. CABI Publishing, Wallingford, UK. 204. p.

Bowman, M. J., D. K. Wills, and P. W. Simon. 2014. Transcript abundance of phytoene synthase 1 and phytoene synthase 2 is associated with natural variation of storage root carotenoid pigmentation in carrot. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 139 (1): 63-68.

Budke, C., S. thor Straten, K. H. Mühling, G. Broll, and D. Daum. 2020. Iodine biofortification of field-grwon strawberries - approaches and their limitations. Sci. Hort. 269.

Bulcher, J. D. et al. 2013. Heterosis in different F_1 *Capsicum annuum* genotypes for fruit traits, ascorbic acid, capsaicin, and flavonoids. Sci. Hort. 159. 72-79.

Businelli, D. et al. 2015. Se-enrichment of cucumber (*Cucumis sativus* L.), lettuce (*Lactuca sativa* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L. Karst) through fortification in pre-transplanting. Sci. Hort. 197: 697-704.

Cao, F., C. Guan, H. Dai, X. Li, and Z. Zhang. 2015. Soluble solids content is positively correlated with phosphorus content in ripening strawberry fruits. Sci. Hort. 195: 183-187.

Cardenosa, V. et al. 2015. Effects of salinity and nitrogen supply on the quality and health-related compounds of strawberry fruits (*Fragaria* × *ananassa* cv. Primoris. J. Sci. Food Agr. 95 (14): 2924-2930.

Castillejo, N. et al. 2022. Postharvest UV radiation enhanced biosynthesis of flavonoids and carotenes in bell peppers. Postharvest Biol. Technol. 184.

Chang, L.L., Y. T. Zhang, G. X. Wang, J. Dong, C. F. Zhong, L. N. Wang and T. H. Li. 2013. The effects of exogenous methyl jasmonate on FaNES1 gene expression and the biosynthesis of volatile terpenes in strawberry (*Fragaria* × *ananssa* Duch.) fruit. J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (4): 393-398.

Charles, D. J., M. R. Morales, and J. E. Simon 1993. Essential oil content and chemical composition of finocchio fennel, pp. 570-573. In: J. Hanick and J. E. Simon (eds.). New Crops. Wiley, N. Y.

Chaves, V. C., E. Calvete, and F. H. Reginatto. 2017. Quality properties and antioxidant activity of seven strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) cultivars. Sci. Hort. 225: 293-298.

Chen, W. et al. 2019. Methyl jasmonate, salicylic acid and abscisic acid enhance the accumulation of glucosinolates and sulforaphane in radish (*raphanus sativus* L.) taproot. Sci. Hort. 250: 159-167.

Cisternas-Jamet, J. et al. 2019. Root inoculation of green bell pepper (*Capsicum annuum*) with *Bacillus amyloliquefaciens* BBC047: effect on biochemical composition and antioxidant capacity. J. Sci. Food Agr. 99 (11).

Cisternas-Jamet, J. et al. 2020. Biochemical composition as a function of fruit maturity stage of bell pepper (*Capsicum annuum*) inoculated with *Bacillus amyloliquefaciens*. Sci. Hort. 263.

Colla, G. et al. 2018. Nitrate in fruits and vegetables. Sci. Hort. 237: 221-238.

Collado-Gonzalez, J. et al. 2021. Exogenous spermidine modifies nutritional and bioactive constituents of cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.) florets under heat stress. Sci. Hort. 277.

Collart, A. J., S. L. Meyers, and J. K. Ward. 2020. Consumer perception of skinning injury in sweetpotatoes and implications for marketability: an experimental auction. HortTechnology 29 (4): 468-475.

Collins, M. D., L. M. Wasmund, and P. W. Bosland 1995. Improved method for quantifying capsaicinoides in *Capsicum* using high-performance liquid chromatography. HortScience 30 (1): 137-139.

Conti, S. et al. 2014. Effects of organic vs. conventional farming system on yield and quality of strawberry grown as an annual or biennial crop in southern Italy. Sci. Hort. 180: 63-71.

Conversa, G. et al. 2019. Selenium fern application and arbuscular mycorrhizal fungi soil inoculation enhance Se content and antioxidant properties of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spears. Sci. Hort. 252: 176-191.

Cros, V., J. J. Martinez-S’nchez, and J. A. Franco. 2007. Good yields of common purslane with high fatty acid content can be obtained in a peat-based floating system. Hortechnology 17 (1):

de Almeida, H. Junior et al. 2020. Zinc application improves the yield and nutritional quality of three green bean genotypes grown in a Red Latosol. Sci. Hort. 274.

de Oliveira, V. C. et al. 2019. Physiological and Physiochemical responses of potato to selenium biofortification in tropiocal soil. Potato Res. 62 (3): 315-331.

de Silva, D. F. et al. 2020. Anatomical and physiological characteristics of *Raphanus sativus* L. submitted to different selenium sources and forms application. Sci. Hort. 260.

de Silva, R. R. et al. 2019. Enrichment of lithium in lettuce plants through agronomic biofortification J. Plant Nutr. 42 (17): 2102-2113.

da Silva Souza, M. A. et al. 2020. Changes in flavonoid and carotenoid profiles alter volatile organic compounds in purple and orange cherry tomatoes obtained by allele introgression. J. Sci. Food Agr. 100 (4).

da Silva, M. P. S. et al. 2021, Capsaicinoides and mineral composition of peppers produced under nutrient deficiencies J. Plant Nutr. 44 (6): 845-853.

Dris, R., R. Niskanen, and S. M. Jain (eds.). 2001. Crop management and postharvest handling of horticultural products. Vol.1. Quality management. Scince Publishers, Inc., Enfield, NH, USA. 364 pp.

Duarte-Sierra, A. et al. 2019. UV-C hormesis in broccoli florets: preservation, phyto-compounds and gene expression. Postharvest Biol. Technol. 157.

Dzakovich, M. P., C. Gómez, M. G. Ferruzzi, and C. A. Mitchell. 2017. Chemical and sensory properties of greenhouse tomatoes remain unchanged in response to red, blue, and far red supplemental light from light-emitting diodes. HortScience 52 (12): 1734-1741.

Ebrahim, R. et al. 2020. Effect of washing and cooking on nitrate content of potatoes (cv. Diamant) and implications for mitigating human health risks in Iran. Potato Res. 63: 449-462.

El-Zaeddi, H. et al. 2016. Irrigation dose and plant density affect the essential oil content and sensory quality of parsley (*Petroselinum sativum*). Sci. Hort. 206: 1-6.

Erken, O. 2022. Some bioactive metabolites' response to long-term water stress in red cabbage. Sci. Hort. 293.

Galini, A. et al. 2015. Effects of nutrient deficiency and abiotic environmental stresses on yield, phenolic compounds and antiradical activity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). Sci. Hort. 187: 93-101.

Gangadhar, B. H. et al. 2012. Comparative study of color, pungency, and biochemical composition in chili pepper (*Capsicum annuun*) under different light-emitting diode treatments. HortScience 47 (12): 1729-1735.

Gartner, W., P. C. Bethke, T. J. Kisha, and J. Nienhuis. 2020. Changes in sugar concentrations of seed and pod tissue during develoment in snap and dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). HortScience 55 (10): 1692-1697.

Gent, M. P. N. 2016 Effect of irradiance and temperature on composition of spinach. HortScience 51 (2): 133-140.

George, N. A., K. V. Pecota, and G. C. Yencho. 2015. The carbohydrate yield of sweetpotato (*Ipomoea batatas*) grown from slips and root pieces in North Carilina. HortScience 50 (11): 1610-1617.

Giné-Bordonaba, J. and L. A. Terry. 2016. Effect of deficit irrigation and methyl jasmonate application on the composition of strawberry (*Fragaria* × *anaassa*) fruit and leaves. Sci. Hort. 199: 63-70.

Giro, A. and A. Ferrante. 2018. Postharvest physiology of *Corchorus olitorius* baby leaf growing with different solutions. J. Hort. Sci. Biotechnol. 93 (4): 400-408.

Giuffrida, F., M. Agnello, R. P. Mauro, A. Ferrante, and C. Leonardi. 2018. Cultivation under salt stress conditions influences postharvest quality and glucosinolates content of fresh-cut cauliflower. Sci. Hort. 236: 166-174.

Goicoechea, N. et al. 2015. Selenium fertilization and mycorrhizal technology may interfere in enhancing bioactive compounds in edible tissues of lettuces. Sci. Hort. 195: 163-172.

Golubkina, N. A. et al. 2017. Intersexual differences in plant growth, yield, mineral composition and antioxidants of spinach (*Spinacia oleracea* L.) as affected by selinum form. Sci. Hort. 225: 350-358.

Gonzalez-Chavira, M. M. et al. 2018. Controlled water deficit as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. Sci. Hort. 234: 354-360.

González-Casado, S. et al. 2018. Enhancing the carotenoid content of tomato fruit with pulsed electric field treatments: effects on respiratory activity and quality attributes. Postharvest Bio. Technol. 137: 113-118.

González-Casado, S. et al. 2018. Induced accumulation of individual carotenoids and quality changes in tomato fruits treated with pulsed electric fields and stored at different post-treatments temperatures. Postharvest Biol. Technol. 146: 117-123.

Groher, T. et al. 2019. Influence of supplementary LED lighting on physiological and biochemical parameters of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) leaves. Sci. Hort. 250: 154-158.

Gui, J.Y. et al. 2022. Comparative study of the effects of selenium yeast and sodium selenite on selenium content and nutrient quality in

broccoli florets (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). J. Sci. Food Agr. 102 (4): 1707-1718.

Guindon, M. F. et al. 2021. Biofortification of pea (*Pisum sativum* L.): a review. J. Sci. Food Agr. 101 (9): 3551-3563.

Guo, L., Y. Zhu, and F. Wang. 2018. Calcium sulfate treatment enhances bioactive compounds and antioxidant capacity in broccoli sprouts during growth and storage. 139: 12-19. Postharvest Biol. Technol. 139: 12-19.

Guo, Y. et al. 2018. Stalk length affects the mineral distribution and floret quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) heads during storage. Postharvest Biol. Technol. 145: 166-171.

Guzman, I. et al. 2020. Health-promoting carotenoids and phenolics in 31 *Capsicum* accessions. HortScience 55 (12): 36-41.

Haghighi, M., S. Saadat, and L. Abbey. 2020. Effect of exogenous amino acids application on growth and nutritional value of cabbage under drought stress. Sci. Hort. 272.

Hamilton-Kemp, T. R., D. D. Archbold, and R. W. Collins. Two volatile sulfur compounds promote increases in natural aroma compounds in strawberry. Acta Hort. No. 567 (vol. 2): 775-777.

Hancock, J. F. 1999. Strawberries. CABI Publishing. Wallingford, UK. 237 p.

Harris, L. J. 1998. Peppers: safe methods to store, preserve, and enjoy. <<http://anracatalog.ucdavis.edu>>

Harvell, K. P. and P. W. Bosland. 1997. The environment produces a significant effect on pungency of chiles. HortScience 32 (7): 1292.

Hassini, I. et al. 2017. Effects of seed priming salinity and methyl jasmonate treatment on bioactive composition of *Brassica oleracea* var. *capitata* (white and red varieties) sprouts. J. Sci. Food Agr. 97 (8): 2291-2299.

Hassini, I., M. C. Martinez-Ballesta, N. Boughanmi, D. A. Moreno, and M. Carvajal. 2017. Improvement of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) growth and qulity by KCl seed priming and methyl jasmonate under salinity stress. Sci. Hort. 226: 141-151.

Henninge, J. 2008. A little chile chemistry for the visiting rocket scientist. The Internet.

Hernández, V. et al. 2019. Interaction of nitrogen and shading on tomate yield and quality. Sci. Hort. 255: 255-239.

Hoidal, N., S.-E. Jacobsen, A. Odone, G. Alandia. 2020. Defoliation timing for Optimal leaf nutrition in dual-use amaranth production systems. J. Sci. Food Agr. 100 (13).

Huyskens-Keil, S., I. Eichholz-Düundar, K. Hassenberg, and W.B. Herppich. 2020. Impact of light quality (white, red, blue and UV-C irradiation) on changes in anthocyanin content and dynamics of PAL and POD activities in apical and basal spear sections of white asparagus after harvest. Postharvest Biol. Technol. 161.

Islam, Md A. et al. 2015. Variability in capsaicinod content in different landraces of capsicum cultivated in north-eastern India. Sci. Hort. 183: 66-71.

Jayathilake, C. et al. 2018. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits. J. Sci. Food Agr. 98 (15).

Ji, S. et al. 2020. The effect of *Trichoderma* biofertilizer on the quality of flowering Chinese cabbage and the soil environment. Sci. Hort. 262.

Jimenez-Gómez, A. et al. 2020. Increase in phenolic compounds of *Coriandrum sativum* L. after the application of a *Bacillus halotolerans* biofertilizer. J. Sci. Food Agr. 100 (6).

Josuttis, M., H. Dietrich, C.D. Patz, and E. Kruger. 2011. Effects of air and soil temperatures on the chemical composition of fruit and agronomic performance in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 86 (4): 415-421.

Kalisz, A. et al. 2018. Mineral composition of cauliflowers with differently coloured curds modified by the chilling of juvenile plants. Sci. Hort. 232: 216-225.

Kan, E.E.L., S.A. Sargent, D.J. Cantliffe, A.D. Berry, and N.L. Shaw. 2020. Harvest maturity and storage temperature affect postharvest quality of 'Wanda datil' hot pepper grown under protected culture. HortTechnology 29 (4): 402-407.

Kang, C.H. et al. 2020. Blue LED light irradiation enhances L-ascorbic acid content while reducing reactive oxygen species accumulation in Chinese cabbage seedlings. Sci. Hort. 261.

Kasperbauer, M. J., J. H. Loughrin, and S. Y. Wang. 2001. Light reflected from red mulch to ripening strawberries affects aroma, sugar and organic acid concentrations. Phytochem. Phytobiol. 74 (1): 103-107.

Kim, B.M. et al. 2021. Effect of salt stress on the growth, mineral contents, and metabolite profiles of spinach. J. Sci. Food Agr. 101 (9): 3787-3794.

Kim, J. Y. et al. 2021. Specific audible sound waves improve flavonoid contents and antioxidative properties of sprouts. Sci. Hort. 276.

Kim, M.Y. et al. 2019. Phenolic compounds and antioxidant activity in sweet potato after heat treatment. J. Sci. Food Agr. 99 (15).

Koodkaew, I. 2018. NaCl and glucose improve health-promoting properties in mung bean sprouts. Sci. Hort. 247: 235-241.

Korkmaz, A., O. Deger, and Y. Cuci. 2014. Profiling the melatonin content in organs of the pepper plant during different growth stages. Sci. Hort. 172: 242-247.

Kospell, D.A., C.E. Sams, T.C. Barickman, and R.C. Morrow. 2014. Sprouting broccoli accumulate higher concentrations of nutritionally important metabolites under narrow-band light-emmitting diode lighting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 139 (4): 469-477.

Koudela, M. and K. Petrikova. 2008. Nutrients content and yield in selected cultivars of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*). Hort. Sci. (Prague) 35 (3): 99-106.

Lara, O. A., A. Amorós, M.L.Tapia, and V.H. Escalona. 2021. Effect of a photoselective filter on the yield and postharvest quality of ‘Virofly’ baby spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves cultivated in a hydroponic system. Sci. Hort. 277.

Lavid, N. et al. 2002. Aroma biosynthesis in strawberry: S-adenosylmethionine: furaneol o-methyl transferase activity in ripening fruits. J. Agr. Food Chem. 50 (14): 4025-4030.

Li, R. et al. 2017. Enhancing iodine content and fruit quality of pepper (*Capsicum amnuum* L.) through biofortification. Sci. Hort. 2014: 165-173.

Li, R. et al. 2017. Iodide and iodate effects on the growth and fruit quality of strawberry. J. Sci. Food Agr. 97 (1): 230-235.

Li, S. et al. 2017. The industrial applications of cassava: opportunities and prospects. J. Sci. Food Agr. 97 (8): 2282-2290.

Li, T., G. Bi, J. LeCompte, T.C. Barickman, and B.B. Evans. 2017. Effect of colored shadecloth on the quality and yield of lettuce and snapdragon. HortTechnology 27 (6): 860-867.

Li, X. et al. 2021. Effects of exogenous germanium and effective microorganisms on germamium accumulation and nutritional qualities of garlic (*Allium sativum* L.). Sci. Hort. 283.

Lin, K., Z. Huang, and Y. Xu. 2018. Influence of light quality and intensity on biomass and biochemical contents of hydroponically grown lettuce. HortScience 53 (8): 1157-1163.

Lightbourn, G.J. et al. 2008. Effects of anthocyanin and carotenoid combinations on foliage and immature fruit color of *Capsicum annuum* L. J. Hered. 99 (2): 105-111.

Liu, X.X. et al. 2015. Oxalate synthesis in leaves is associated with root uptake of nitrate and its assimilation in spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants. J. Sci. Food Agr. 95 (10): 2015-2116.

Liu, C. et al. 2018. Effects of postharvest UV-C irradiation on phenolic acids, flavonoids, and key phenylpropanoid pathway genes in tomato fruit. Sci. Hort. 241: 107-114.

Loayza, F.E. et al. 2020. Enhancement of the antioxidant capacity of ripe tomatoes by the application of a hot water treatment at the mature-green stage. Postharvest Biol. Technol. 161.

Loayza, F.E. et al. 2020. Synergy between hot water treatment and high temperature ethylene treatment in promoting antioxidants in mature-green tomatoes. Postharvest Biol. Technol. 170.

Lombardo, S., G. Pandino, G. Mauromicale. 2018. The influence of pre-harvest factors on the quality of globe artichoke. Sci. Hort. 233: 479-490.

Lone, R., R. Shuab, S. Khan, J. Ahmad, and K.K. Koul. 2018. Influence of mycorrhizal inoculation on carrot growth, metabolites and nutrition. J. Plant Nutr. 41 (4): 432-444.

Lone, R., A. Alaklabi, J. A. Malik, and K.K. Koul. 2020. Mycorrhizal influence on storage metabolite and mineral nutrition in seed propagated potato (*Solanum tuberosum* L.) plant. J. Plant Nutr. 43 (14): 2164-2175.

López-Gámez, G. et al. 2020. Pulsed electric fields affect endogenous enzyme activities, respiration and biosynthesis of phenolic compounds in carrots. Postharvest Biol. Technol. 168.

Loughrin, J.H. and M.J. Kasperbauer. 2002. Aroma of fresh strawberries is enhanced by ripening over red versus black mulch. J. Agr. Food Chem. 50 (1): 161-165.

Lu, M. et al. 2020. Nutritional quality and health risk of pepper fruit as affected by magnesium fertilization. J. Sci. Food Agr. 101 (2).

Luby, C.H., R. Vernon, H.A. Maeda, and I.L. Goldman. 2015. Lack of correspondence between experimentally determined values of vitamin E in carrot (*Daucus carota* L.) and those reported in the USDA National Nutrient Database. HortScience 50 (10): 1595-1597.

Luo, Y. et al. 2021. Accumulation of carotenoids and expression of carotenoids biosynthesis genes in fruit flesh during fruit development in two *Cucurbita maxima* inbred lines. Hort. Plant J. 7 (6): 529-538.

Mackenzie, S.J., C.K. Chandler, T. Hasing, and V.M. Whitaker. 2011.

The role of temperature in the late-season decline in soluble solids content of strawberry fruit in a subtropical production system. HortScience 46 (11): 1562-1566.

Maharjan, P., J. Penny, D.L. Partington, and J. F. Panozzo. 2019. Genoptype and environment effects on the chemical composition and rheological properties of field peas. J. Sci. Food Agr. 99 (12).

Makrogianni, D.I., A. Tsistraki, I.C. Karapanos, and H.C. Passam. 2017. Nutritional value and antioxidant content of seed-containing and seedless eggplant fruits of two culivars grown under protected cultivation during autumn-winter and spring-summer. J. Sci. Food Agr. 97 (11): 3752-3760.

Manzoor, J., M. Sharma, and K.A. Wani. 2018. Heavy metals in vegetables and their impact on the nutrient quality of vegetables: a review. J. Plant Nutr. 41 (13): 1744-1763.

Mariz-Ponte, N. et al. 2019. The potential use of the UV-A and UV-B to improve tomato quality and preference for consumers. Sci. Hort. 246-777-784.

Meneghelli, C.M. et al. 2021. Zinc-biofortified lettuce in aeroponic system. J. Plant Nutr. 44 (14): 2146-2156.

Miao, L. et al. 2017. Fruit quality antioxidant capacity, related genes, and enzyme activities in strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) grown under colored plastic films. HortScience 52 (9): 1241-1250.

Mechora, S., V. Stibilj, I. Kreft, and M. Germ. 2014. The physiology and biochemical tolerance of cabbage to Se (VI) addition to the soil and by foliar spraying. J. Plant Nutr. 37 (13): 2157-2169.

Montoya-Garcia, C. et al. 2018. Change in the contents of fatty acids and antioxidant capacity of purslane in relation to fertilization. Sci. Hort. 234: 152-159.

Motoki, S. et al. 2019. Distribution of rutin and protodioscin in different tissue parts of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). HortScience 54 (11): 1921-1924.

Nájera, C. et al. 2018. LED-enhanced dietary and organoleptic qualities in postharvest tomato fruit. Poastharvest Biol. Technol. 145: 151-156.

Ndlovu, J. and A.J. Afolayan. 2008. Nutritional analysis of the south African wild vegetable *Corchorus olitorius* L. Asian J. Plant Sci. 7 (6): 615-618.

Neugart, S. and M. Schreiner. 2018. UVB and UVA as eustressors in horticultural and agricultural crops. Sci. Hort. 234: 370-381.

Ngcobo, B. L., I. Bertling, and A.D. Clulow. 2020. Preharvest illumination of cherry tomato reduces ripening period, enhances fruit carotenoid concentration and overall fruit quality. J. Hort. Sci. Biotechnol. 95 (5): 617-627.

Nguyen, D.T.P. et al. 2020. Improving secondary metabolite accumulation, mineral content, and growth of coriander (*Coriandrum sativum* L.) by regulating light quality in a plant factory. J. Hort. Sci. Biotechnol. 95 (3): 356-363.

Nicoletto, C. et al. 2014. Effect of the anaerobic digestion residues use on lettuce yield and quality. Sci. Hort. 180: 207-213.

Niu, S. et al. 2019. Starch granule sizes and degradation in sweet potatoes during storage. Postharvest Biol. Technol. 150: 137-147.

Nouraei, S., M. Rahimmalek, and G. Saeidi. 2018. Variation in polyphenolic composition, antioxidants and physiological characteristic of globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* Hayek) as affected by drought stress. Sci. Hort. 233: 378-385.

Ntsoane, L.L.M., P. Soundy, J. Jifon, and D. Sivakumar. 2016. Variety-specific responses of lettuce grown under the different-colored shade nets on phytochemical quality after postharvest storage. J. Hort. Sci. Biotechnol. 91 (5): 520-528.

Oh, M.M., E.E. Carey, and C.B. Rajashekar. 2010. Regulated water deficits improve phytochemical concentration in lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135: 223-229.

Oku, S. et al. 2019. Sugar accumulation and activities of enzymes involved in fructan dynamics from seedling to bulb formation in onion (*Allium cepa* L.). Sci. Hort. 247: 147-155.

Olias, J.M., C. Senz, and A.G. Perez. 2001. Postharvest handling of strawberries for fresh market, pp. 209-233. In: R. Dris, R. Niskanen, and S.M. Jain (eds). Crop management and postharvest handling of horticultural products. Vol.1. Quality management. Since Pub., Enfield, NJ., USA.

Olszyk, D. et al. 2020. Biochar affects essential nutrients of carrot taproots and lettuce leaves. HortScience 55 (2): 261-271.

Oluwole, O.S.A. 2008. Cyanogenicity of cassava varieties and risk of exposure to cyanide from cassava food in Nigerian communities. J. Sci. Food Agr. 88 (6): 962-969.

Ombódi, A., H.G. Daood, and L. Helyes 2014. Carotenoid and tocopherol composition of an orange-colored carrot as affected by water supply. HortScience 49 (6): 729-733.

OSU, Oregon State University 2007. Asparagus production management and marketing. Ext. Bul. 826. The Internet.

Owen, W. G. and R. G. Lopez. 2015. End-of-production supplemental lighting with red and blue light-emitting diodes (LEDs) influences red pigmentation of four lettuce varieties. HortScience 50 (5): 676-684.

Paim, B. T. et al. 2020. Mild drought stress has potential to improve lettuce yield and quality. Sci. Hort. 272.

Palada, M. C. and S. M. A. Crossman. 1999. Evaluation of tropical leaf vegetables in the Virgin Islands, pp. 388-393. In: J. Janick (ed). Prespectives on new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA.

Pandino, G., S. Lombardo, and G. Mauromicale. 2011. Mineral profile in globe artichoke as affected by genotype, head part and environment. J. Sci. Food Agr. 91: 302-308.

Panjai, L., G. Noga, M. Hunsche, and A. Fiebig. 2019. Optimal red light irradiation time to increase health-promoting compounds in tomato fruits postharvest. Sci. Hort. 251: 189-196.

Park, J. C., S.M. Park, K.C. Yoo, and C.S. Jeong. 2001. Changes in postharvest physiology and quality of hot pepper fruits by harvest maturity and storage temperature. (In Korean with English summary). J. Korean. Soc. Hort. Sci. 42 (3): 289-294. c.a. Hort. Abstr. 71: Abst. 9829; 2001.

Pennisi, G. et al. 2020. Optimal light intensity for sustainable water and energy use in indoor cultivation of lettuce and basil under red and blue LEDs. Sci. Hort. 272.

Pérez-Ambrocio, A. et al. 2017. Effect of blue and ultivaiolet-C light irradiation on bioactive compouns and antioxidant capacity of habareno pepper (*Capsicum chinense*) during refrigeration storage. Postharvest Biol. Technol. 135: 19-26.

Pérez-López, U. et al. 2015. Growth and nutritional quality improvement in two differently pigmented lettuce cultivars under elevated CO_2 and/or salinity. Sci. Hort. 195: 56-66.

Petropoulos, S. A. et al. 2019. The effect of covering material on the yield, quality and chemical composition of greenhouse-grown tomato fruit. J. Sci. Food Agr. 99 (6).

Phillips, K.M. et al. 2018. Sespnal variability of the vitamin C content of fresh fruits and vegetables in a local market. J. Sci. Food Agr. 98 (11).

Phimchan, P., S. Techawongstien, S. Chanthai, and P. W. Bosland. 2012. Impact of drought stress on the accumulation of capsaicinoids in capsicum cultivars with different initial capsaicinoid levels. HortScience 47 (9): 1204-1209.

Podda, A. et al. 2019. Drought stress modulates secondary metabolites in *Brassica oleracea* L. convar. *acephala* (DC) Alef., var. Sabellica L. J. Sci. Food. Agr. 99 (12).

Prasad, R. and Y. S. Shivay. 2020. Agronomic biofortification of plant foods with minerals, vitamins and metabolites with chemical fertilizers and liming. J. Plant Nutr. 43 (10): 1534-1554.

Prince Edward Island. 2005. Beets. Farm Extension Services. Pub. No. 1400 A. The Internet.

Puccinelli, M. et al. 2019. Effect of selenium enrichment on metabolism of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit during postharvest ripening. J. Sci. Food. Agr. 99 (5).

Purdue University. 1997. Dill - Aromatic and Medicinal Plants Index, Purd Guide to Medicinal and Aromatic Plants. The Internet.

Quartacci, M. F., C. Sgherri, and S. Frisenda. 2017. Biochar amendment affects phenolic composition and antioxidant capacity restoring the nutraceutical value of lettuce grown in a copper-contaminated soil. Sci. Hort. 2016: 9-14.

Ramos, D. P. et al. 2020. Agromomic biofortification of cowpea with selenium by foliar fertilization: effect of doses in three cultivars. J. Plant Nutr. 43 (4).

Ren, F. et al. 2017. Evaluation of polyphenolic content and antioxidant activity in two onion varieties grown under organic and conventional production systems. J. Sci. Food Agr. 97 (9): 2982-2990.

Rendina, N. et al. 2019. Yield parameters and antioxidant compounds of tomato fruit: the role of plant defence inducers with or without cucumber mosaic virus infection. J. Sci. Food Agr. 99 (12): 5541-5549.

Ribes-Moya, A. M. et al. 2020. Variation in flavonoids in a collection of peppers (*Capsicum* sp.) under organic and conventional cultivation: effect of the genotype, ripening stage, and growing system. J. Sci. Food Agr. 100 (5).

Rocchetti, G. 2019. Untargeted screening of the bound/free phenolic composition in tomato cultivars for industrial transformation. J. Sci. Food Agr. 99 (14).

Rouphael, Y. et al. 2018. Salinity as eustressor for enhancing quality of vegetables. Sci. Hort. 234: 361-369.

Ruangrak, E. and W. Khummueng. 2019. Effects of artificial light sources on accumulation of phytochemical contents in hydroponic lettuce J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (3): 378-388.

Ruiz-Lau, N. et al. 2011. Water deficit affects the accumulation of capsaicinoids in fruits of *Capsicum chinense* Jacq. HortScience 46: 487-492.

Russo, V. M. 2008. Yield in nonpungent Jalapeno pepper established at different in-row spacings. HortScicence 43 (7): 2018-2021.

Russo, V. M. and L. R. Howard. 2002. Carotenoids in pungent and non-pungent peppers at various developmental stages grown in the field and glasshouse. J. Sci. Food Agric. 82 (6): 615-624.

Rubarczyk-Plonska, A. et al. 2016. Flavonols in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) flower buds as affected by postharvest temperature and radiation treatments. Postharvest Biol. Technol. 116: 105-114.

Rybarczyk-Plonska, A. et al. 2016. Glucosinolates in broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) as affected by postharvest temperature and radiation treatments. Postharvest Biol. Technol. 116: 16-25.

Ryder, E. J. 2002. The new salad crop revolution, pp. 408-412. In: J. Hanick and A. Whipkey (eds.). Ternds in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandia, VA.

Sabatino, L. et al. 2021. Selenium biofortication and grafting modulate plant performance and functional features of cherry tomato grown in soilles system. Sci. Hort. 285.

Sahin, O. 2021. Combined biofortification of soilless grown lettuce with iodine, selenium and zinc and its elemental composition. Plant Nutr. 44 (5): 673-678.

Saia, S. et al. 2019. An endopytic fungi-based biostimulant moulated lettuce yield, physiological and functional quality responses to both moderate and severe water limitation. Sci. Hort. 256.

Samotyja, U. 2019. Potato peel as a sustainable resource of natural antioxidants for the food industry. Potato Res. 62 (4): 435-451.

Sánchez, M.-T. 2020. *In situ* ripening stages monitoring of Lamuyo pepper using a new-generation near-infrared spectroscopy sensor. J. Sci. Food. Agr. 100 (5): 1931-1939.

Sarker, U. and S. Oba. 2018. Salinity stress enhances color parameters, bioactive leaf pigments, vitamins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in selected *Amaranthus* leafy vegetables. J. Sci. Food Agr. 99 (5).

Sawatdee, S. et al. 2021. Combined effects of cations in fertilizer solution on antioxidant content in red lettuce (*Lactuca sativa* L.). J. Sci. Food Agr. 101 (11): 4632-4642.

Schiattone, M. I. et al. 2018. Impact of irrigation regime and nitrogen rate on yield, quality and water use efficiency of wild rocket under greenhouse conditions. Sci. Hort. 229: 182-192.

Schultheis, J. R. 1999. Growing Jerusalem artichokes. North Carolina Coop. Ext. Ser. Hort. Inf. leaflet 1-A. The Internet.

Sekara, A. et al. 2015. Globe artichoke – a vegetable, herb and ornamental of value in central Europe: a review. J. Hort. Sci. Biotechnol. 90 (4): 365-374.

Seljasen, R. et al. 2013. Quality of carrots as affected by pre- and postharvest factors and processing. J. Sci. Food Agr. 93: 2611-2626.

Shan, C., Y. Zhang, and H. Zhang. 2018. ABA participates in the regulation of vitamin C content in the fruit of strawberry using lanthanum nitrate. Sci. Hort. 233: 455-459.

Shimomura, M. et al. 2020. Continuous blue lighting and elevated carbon dioxide concentration rapidly increase chlorogenic acid content in young lettuce plants. Sci. Hort. 272.

Shinohara, T., S. Agehara, K. S. Yoo, and D. I. Leskovar. 2011. Irrigation and nitrogen management of artichoke: yield, head quality, and phenolic content. HortScience 46: 377-386.

Shioshita, R., J. Enoka, D. K. Aiona, and A. M. Wall. 2007. Coloration and growth of red lettuce grown under UV-radiation transmitting and non-transmitting covers. Acta Hort. No. 76: 221-225.

Siadat-Jamian, S. et al. 2019. Qualitative and quantitative response of artichoke to irrigation treatments and planting densities. Sci. Hort. 253: 422-428.

Simsek, O. and H. Celik. 2021. Effects of iron fortification on growth and nutrient amounts of spinach (*Spinacia oleracea* L.). J. Plant Nutr. 44 (18): 2770-2782.

Siomos, A. 2018. The quality of asparagus as affected by preharvest factors. Sci. Hort. 233: 510-519.

Smolen, S., I. Ledwozyw-Smolen, M. Halka, W. Sady, and P. Kovacik. 2017. The absorption of iodine from 5-iodosalicylic acid by hydroponically grown lettuce. Sci. Hort. 225: 716-725.

Son, K. H. and M. M. Oh. 2013. leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light emitting diodes. HortScience 48 (8): 988-995.

Son, K. H., J. H. Lee, Y. Oh, D. Kim, and M.M. Oh. 2017. Growth and bioactive compound synthesis in cultivated lettuce subject to light-quality changes. HortScience 52 (4): 584-591.

Soto, W.C. et al. 2021. Bioactive compounds in vegetables, is there consistency in the published information? A systematic review. J. Hort. Sci. Biotechnol. 96 (5): 570-587.

Stagnari, F., A. Galieni, and M. Pisante. 2015. Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. Sci. Hort. 192: 70-79.

Still, D. W. 2007. Lettuce, pp. 127-140. In: C. Kole (ed.). Genome mapping and molecular breeding in plants. Vol. 5. Vegetables. Springer-Verlag, Berlin.

Suja, G., G. Byju, A.N. Jyothi, S.S. Veena, and J. Sreekumar. 2017. Yield, quality and soil health under organic vs conventional farming in taro. Sci. Hort. 218: 334-343.

Sun, Y., W. Mi, and L. Wu. 2019. Effects of foliar Fe and Zn fertilizers on storage root Fe, Zn, and beta-carotene content of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) J. Plant Nutr. 42 (1).

Surles, R. L., N. Weng, P. W. Simon, and S. A. Tanumihardjo. 2004. Carotenoid profiles and consumer sensory evaluation of specialty carrots (*Daucus carota*, L.) of various colors. J. Agr. Food Chem. 52: 3417-3421.

Sytar, O. et al. 2018. Shift in accumulation of flavonoids and phenolic acids in lettuce attributable to changes in ultraviolet radiation and temperature. Sci. Hort. 239: 193-204.

Tabesh, M., S. Kiani, and A.H. Khoshgoftarmanesh. 2020. The effectiveness of seed priming and foliar application of zinc-amino acid chelates in comparison with zinc sulfate on yield and grain nutritional quality of common bean. J. Plant Nutr. 43 (14): 2106-2116.

Taglienti, A. et al. 2020. Metabolites response to onion yellow dwarf virus (OYDV) infection in 'Rosa di Tropea' onion during storage: a ^{1}H HR-MAS NMR study. J. Sci. Food Agr. 100 (8).

Tang, E. L. H. et al. 2015. *Petroselinum crispum* has antioxidant properties, protects against DNA damage and inhibits proliferation and migration of cancer cells. J. Sci. Food Agr. 95 (13): 2763-2771.

Tatarowska, B. et al. 2019. Carotenoids variability of potato tubers in relation to genotype, growing location and year. Amer. J. Potato Res. 96 (5): 493-504.

Thakur, H., S. Sharma, and M. Thakur. 2019. Recent trends in muskmelon (*Cucumis melo* L.) research: an overview. J. Hort. Sci. Biotechnol. 94 (4): 533-547.

Thangasamy, A. et al. 2021. Effects of sulfur fertilization on yield, biochemical quality, and thiosufinate content of garlic. Sci. Hort. 289.

Tian, S.L., L. Li, Y. Q. Shah, S.N.M. Shah, and Z. H. Gong. 2016. Effects of abscisic acid on capsanthin levels in pepper fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 141 (6): 609-616.

Tripodi, G., C. Condurso, F. Cincotta, M. Merlino, and A. Verzera. 2020. Aroma compounds in mini-watermelon fruits from different grafting combinations. J. Sci. Food Agr. 100 (3).

Urlić, B., G. Dumicic, M. Romić, and S. G. Ban. 2017. The effect of N and NaCl on growth, yield, and nitrate cointent of salad rocket (*Eruca sativa* Mill.). J. Plant Nutr. 40 (18): 2611-2618.

Vaitkeviciené, N. 2019. A comparative study on proximate and mineral composition of coloured potato peel and flesh. J. Sci. Food Agr. 99 (14).

VandenLangenberg, K. M., P. C. Bethke, and J. Nienhuis. 2012. Patterns of fructose, glucose, and sucrose accumulation in snap and dry bean (*Phaseolus vulgaris*) pods. HortScience 47 (7): 874-878.

Van de Velde, F. et al. 2019. Changes due to high oxygen and high carbon dioxide atmospheres on the general quality and the polyphenolic profile of strawberries. Postharvest Biol. Technol. 148: 49-57.

Vanlalneihi, B. et al. 2020. Genetic and principal component analysis for agro-morphological traits, bioactive compounds, antioxidant activity variation in breeding lines of early Indian cauliflower and their suitability for breeding. J. Hort. Sci. Biotechnol. 95 (1): 93-105.

Vázquez-Hernández, M. C. et al. 2019. Eustressors: chemical and physical stress factors used to enhance vegetables production. Sci. Hort. 250: 223-229.

Viacava, G. E. and S. I. Roura. 2015. Principal component and hierarchical cluster analysis to select natural elicitors for enhancing phytochemical content and antioxidant activity of lettuce sprouts. Sci. Hort. 193: 13-21.

Viacava, G. E., R. Goyeneche, M. G. Goni, S. I. Roura, and M. V. Aguero. 2018. Natural elicitors as preharvest treatments to improve postharvest quality of butterhead lettuce. Sci. Hort. 228: 145-152.

Volaverde, J. et al. 2015. Variation of bioactive content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) grown under conventional and organic production systems. J. Sci. Food Agr. 95 (6): 1163-1171.

Wala, M. et al. 2022. Effect of the Fe-HBED chelate on the nutritional quality of tomato fruits. Sci. Hort. 293.

Wang, X. et al. 2018. Diversity of nitrate, oxalate, vitamin C and carotenoid contents in different spinach accessions and their correlation with various morphological traits. J. Hort. Sci. Biotechnol. 93 (4): 409-415.

Weber, N. et al. 2017. Influence of deficit irrigation on strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) fruit quality. J. Sci. Food Agr. 97 (3): 849-857.

Wen, D. 2021. Selenium in horticultural crops. Sci. Hort. 289.

Wu, Q. et al. 2018. Effect of exogenous auxin on aroma volatiles of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during postharvest ripening. Postharvest Biol. Technol. 146: 108-116.

Xu, C. and B. Mou. 2016. Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 141 (1): 12-21.

Xu, H. J. et al. 2021. New insight on low-K lettuce: from photosynthesis to primary and secondary metabolites. HortScience 56: 407-413.

Yan, J. W. et al. 2018. The aroma volatile repertoire in strawberry fruit: a review. 98 (12).

Yang, X. et al. 2018. Effect of glycine nitrogen on lettuce growth under soiless culture: a metabolomics approach to identify the main changes accurred in plant primary and secondary metabolism. J. Sci. Food. Agr. 98 (2): 467-477.

Yang, Y. et al. 2020. Relationship between CsLOX gene expression and C6 and C9 aldehydes during cucumber fruit storage. Postharvest Biol. Technol. 161.

Yasour, H., M. Firer, and E. Beit-Yannai. 2015. Protective structures and manganese amendments effects on antioxidant activity in pepper fruit. Sci. Hort. 185: 211-218.

Yoshida, Y. and H. Tamura. 2005. Variation in concentration and composition of anthocyanins among strawberry cultivars. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 74 (1): 36-41.

Zaman, S. et al. 2019. The accumulation of fatty acids in different organs of purslane under salt stress. Sci. Hort. 250: 236-242.

Zaro, M. J., S. Keunchkarian, A. R. Chaves. A. R. Vicente, and A. Concellón. 2014. Changes in bioactive compounds and response to postharvest storage conditions in purple eggplants as affected by fruit developmental stage. Postharvest Biol. Technol. 96: 110-117.

Zeliou, K. et al. 2018. Physical and chemical quality characteristics and antioxidant properties of strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) in Greece: assessment of their sensory impact. J. Sci. Food Agr. 98 (11).

Zewdie, Y. and P. W. Bosland. 2000. Pungency of chile (*Capsicum annuum* L.) fruit is affected by node position. HortScience 35 (6): 1174.

Zhang, A., H. Li, Z. Tang, and X. Chen. 2015. Growth and physiological response to nitrogen deficiency and re-supply in leaf-vegetable sweetpotato (*Ipompea batatas* Lam). HortSciece 50 (5): 754-758.

Zhong, Y. et al. 2019. NMR-based fruit metabonomic analysis of watermelon grafted onto different rootstocks under two potassium levels. Sci. Hort. 258.

Zhou, N. et al. 2020. Role of sucrose in modulating the low-nitrogen-induced accumulation of phenolic compounds in lettuce (*Lactuca sativa* L.). J. Sci. Food Agr. 100 (15): 5412-5421.

Zurawicz, A., W. Krzesinski, and M. Knaflewski. 2008. Changes in soluble solid content in green asparagus spears during harvest season. Acta Hort.No. 776: 435-444.

Zushi, K, C. Suehara, and M. Shirai, 2020. Effect of light intensity and wavelenghths on ascorbic acid content and the antioxidant system in tomato fruit grown *in vitro*. Sci. Hort. 274.

المؤلف فى سطور



دكتور أحمد عبد المنعم حسن – أستاذ الخضر المتفرغ بكلية الزراعة، جامعة القاهرة – من مواليد محافظة البحيرة – جمهورية مصر العربية - ١٩٤٢.

حصل على البكالوريوس من جامعة الإسكندرية بتقدير ممتاز مع مرتبة الشرف الأولى عام ١٩٦٢، والماجستير من جامعة ولاية نورث كارولينا ١٩٦٦، والدكتوراه من جامعة كورنل بالولايات المتحدة ١٩٧٠.

عمل بالتدريس وإجراء الأبحاث العلمية فى جامعات القاهرة، والإسكندرية، وبغداد، والإمارات العربية المتحدة.

أشرف على عديد من طلبة الدراسات العليا فى جامعات القاهرة، وعين شمس، وبغداد، وشارك فى مناقشة عديد من رسائل الماجستير والدكتوراه، وفى تقييم المتقدمين للترقيات العلمية فى عديد من الجامعات المصرية والعربية.

عضو عديد من اللجان والجمعيات العلمية المحلية والعالمية.

له ٧٧ مؤلفًا علميًّا وأكثر من ٩٠ بحثًا علميًّا منشورة فى الدوريات العلمية المحلية والعالمية، إضافة إلى حوالى ٢٧ نشرة إرشادية.

حصل على جائزة الدولة التشجيعية ووسام العلوم والفنون من الطبقة الأولى (أكاديمية البحث العلمى – مصر) عام ١٩٨٤، وأربع جوائز عن التأليف العلمى الزراعى (وزارة الزراعة – مصر) عام ١٩٨٤ والجائزة الأولى لندوة الثقافة والعلوم (دبى) عام ١٩٩١.

ويمكن الإطلاع على مؤلفات الدكتور/ أحمد عبدالمنعم حسن فى صفحته على جوجل، وهى:

https://sites.google.com/view/prof-ahmed-hassan-site/home